



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**MODERNÍ TECHNOLOGIE PRO ÚPRAVU TEPELNÉHO
PROSTŘEDÍ AUTOMOBILŮ S ALTERNATIVNÍMI POHONY**

MODERN TECHNOLOGIES IN THERMAL MANAGEMENT OF PASSENGER VEHICLES WITH ALTERNATIVE
DRIVETRAIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Žaneta Gawlasová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miloš Fojtlín

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Žaneta Gawlasová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Miloš Fojtlín**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Moderní technologie pro úpravu tepelného prostředí automobilů s alternativními pohony

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Systémy pro úpravu tepelného prostředí vozidel jsou komplexní zařízení, které pokrývají potřeby pro větrání vytápění a chlazení. V současnosti je kladen důraz na vývoj těchto systémů zejména s ohledem na tři základní oblasti: tepelný komfort, snižování energetické náročnosti a snížení dopadu na ŽP.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování rešerše s ohledem na:

1. základní definování podmínek pro dosažení tepelné pohody ve voze,
2. zmapování současného stavu v oblasti moderních technologií pro úpravu tepelného prostředí automobilů s alternativními pohony,
3. Kritické zhodnocení zjištěných skutečností.

Seznam literatury:

1999 ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications. SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 1999. ISBN 18-834-1372-9.

ASHRAE. ASHRAE Fundamentals Handbook. SI. Atlanta: Amer. Soc. of Heating, Refrigerating & A-C Engineers, 2001. ISBN 978-1883413880.

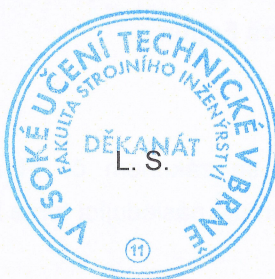
DALY, S. Automotive air-conditioning and climate control systems. 1st ed. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. ISBN 978-075-0669-559.

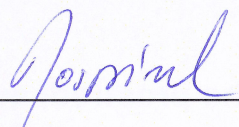
FARRINGTON, R., RUGH, J. Impact of Vehicle Air- Conditioning on Fuel Economy , Tailpipe Emissions , and Electric Vehicle Range. September. Earth Technologies Forum, 2000. Dostupné také z: <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28960.pdf>

KAMBLY, K. R., BRADLEY, T. H. Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles. Jurnal of Power Sources. 2014, (259), 117–124.

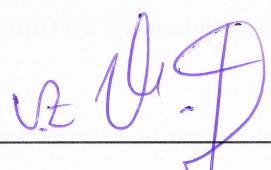
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 3. 11. 2016





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na posouzení současného stavu moderních technologií pro úpravu tepelného prostředí v automobilech s alternativními pohony. Stěžejní částí práce je řešení pokročilých systémů, jejichž cílem je minimalizace tepelného zatížení posádky a zajištění tepelné pohody v kabině automobilu prostřednictvím různých forem přenosu tepla. Studie pojednává o reverzibilních tepelných čerpadlech, fotovoltaických solárních panelech, Peltierových článcích, infravytápění, heat pipe zařízeních a magnetokalorickém chlazení. Jednotlivé technologie jsou úvodem popsány z hlediska teoretického principu funkce, dále jsou zmíněny přínosy a omezení systému a aplikace technologie ve vozidlech. V závěru práce je pro názornost vytvořen model energetické náročnosti odporového vytápění a reverzibilního a magnetokalorického tepelného čerpadla pro zimní a letní provoz. Rovněž je navrženo vylepšení dostupných systémů i potenciální využití prototypních technologií, které mohou výrazně přispět k redukci spotřeby energie při poskytnutí požadovaného tepelného komfortu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelná pohoda, HVAC systém, klimatizace, vytápění, elektromobil

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the assessment of the current state of modern technologies in thermal management of passenger vehicles with alternative drivetrain. The main part of the work is based on the research into advanced systems aimed at minimizing the thermal load of the passengers and at ensuring the thermal comfort in the car cabin through various forms of the heat transfer. The study deals with reversible heat pump, photovoltaic solar panels, thermoelectric Peltier device, infrared heating, heat pipe and magnetocaloric cooling. Technologies are described from the point of view of the theoretical principle of operation, further, there are mentioned benefits and limitations of the system and the application of the technology in vehicles. Finally, a calculation of the energy demands of resistance heating as well as reversible and magnetocaloric heat pump for winter and summer operation is created for illustrative purposes. In addition to that, improvements of available systems and the potential use of prototype technologies, that can significantly contribute to reducing energy consumption while providing the required thermal comfort, are proposed at the end of the thesis.

KEYWORDS

Thermal comfort, HVAC system, air-conditioning, heating, electric vehicle

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GAWLASOVÁ, Ž. *Moderní technologie pro úpravu tepelného prostředí automobilů s alternativními pohony*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloš Fojtlín.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Miloše Fojtlína a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Žaneta Gawlasová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala především svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miloši Fojtlínovi za jeho cenné rady a podnětné návrhy k práci. Poděkování patří i mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

OBSAH

Úvod	9
1 Cíle a limity práce.....	10
2 Přenos tepla	11
3 Tepelná pohoda a metabolismus člověka.....	15
3.1 Faktory ovlivňující tepelnou pohodu	15
4 Technologie pro úpravu tepelného prostředí	17
4.1 Současný koncept	17
4.2 Reverzibilní tepelná čerpadla.....	20
4.3 Fotovoltaické solární panely	22
4.4 Peltierovy články	24
4.5 Infravytápění	28
4.6 Heat pipe	29
4.7 Magnetokalorické chlazení	32
5 Zhodnocení a diskuze	35
Závěr.....	39
Seznam použitých zdrojů.....	40
Seznam použitých symbolů a zkratk	44

ÚVOD

V současné době je v důsledku rostoucího času, který lidé tráví ve vozidlech, ať už osobní či veřejné dopravy, kladen stále větší důraz na dosažení subjektivní spokojenosti cestujících s tepelným prostředím kabiny vozu, nazývané tepelná pohoda neboli tepelný komfort. Tepelná pohoda výrazně ovlivňuje pozornost řidiče, dle [1] bylo zjištěno, že doba reakce řidiče při 27 °C je o 22 % pomalejší než při 21 °C. Primárním účelem je tedy zaměřit se na pohodlí cestujících, a to především řidiče.

Úprava tepelného komfortu v kabinách dopravních prostředků je řešena standardně systémem větrání, vytápění a klimatizace (dále jen jako „HVAC“, z anglického Heating, Ventilation and Air-Conditioning). Hlavním účelem použití HVAC systémů je zajištění vhodných mikroklimatických podmínek, které minimalizací tepelného zatížení zaručují pohodu a nesnižují pozornost řidiče. Rovněž zabezpečují výhled z kabiny vozu formou odmlžování a odmrazování oken, což přispívá k bezpečnější jízdě a snižování rizika dopravních nehod.

Z energetického hlediska má HVAC systém výrazný vliv na celkovou spotřebu vozidla. Použití HVAC jednotky je náročné zejména u automobilů na elektrický pohon, protože energie potřebná k zajištění komfortního prostředí je čerpána z akumulátoru, což se následně výrazně projeví na dojezdové vzdálenosti vozidla. Je to způsobeno tím, že HVAC systém je využíván průměrně ze 46 % celkového využití vozu a spotřeba elektrické energie na provoz tohoto systému může snížit dojezd elektromobilů až o 40 % [1]. Je proto snaha vyvíjet systémy, které redukují tuto spotřebu a zároveň poskytnou požadovaný tepelný komfort.

Tato práce je zaměřena na současný stav technologií pro úpravu tepelného prostředí v kabinách automobilů. Řešena je především otázka, jak pokročilé systémy ovlivňují tepelné prostředí ve vozidle, a to tak, aby bylo dosaženo tepelné pohody pro cestující. Neméně důležitou oblastí řešerše je i problematika energetické náročnosti jednotlivých systémů a jak tyto pokročilé technologie mohou ovlivnit spotřebu energie v automobilech s alternativními pohony.

1 CÍLE A LIMITY PRÁCE

CÍLE PRÁCE

- Definice základních podmínek pro dosažení tepelné pohody v kabině automobilu.
- Zpracování rešerše z oblasti moderních technologií pro úpravu tepelného prostředí v automobilech s alternativními pohony.
- Zhodnocení zjištěných informací, zejména energetické náročnosti.

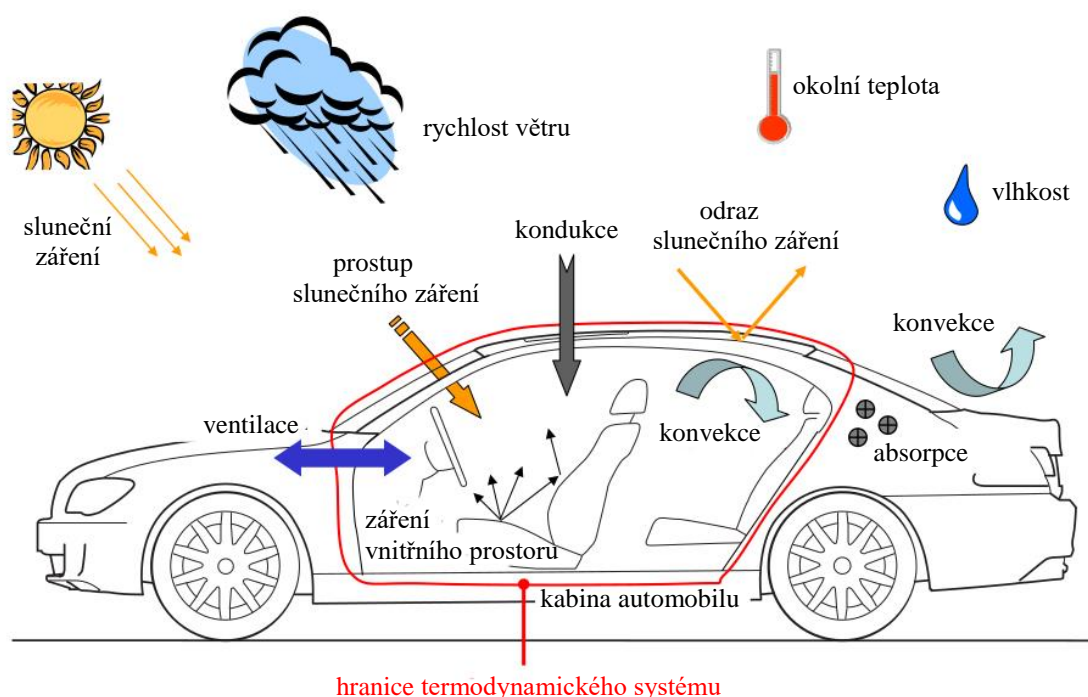
LIMITY PRÁCE

- Práce se nezabývá úpravou tepelného prostředí v kabinách jiných dopravních prostředků než automobilů.

2 PŘENOS TEPLA

Přenos tepla je termodynamický děj, při kterém dochází k výměně tepla mezi dvěma tělesy s odlišnou teplotou. Probíhá tedy pouze tam, kde existuje teplotní gradient. V automobilech dochází k přenosu tepla nejen mezi kabinou vozu a okolním prostředím, ale rovněž i mezi cestujícími a kabinou.

Přenos tepla v automobilech může být vyvolán konvekcí (proudění vzduchu, kterému je tělo vystaveno, vyvolává chladicí účinek), kondukcí (kontaktní přenos tepla mezi cestujícím a jinými předměty, např. sedadly), radiací (přenos tepla elektromagnetickým zářením z povrchu nebo předmětu o odlišné teplotě, než je teplota lidského těla) a také biologickými procesy (pocení a dýchání) [2].



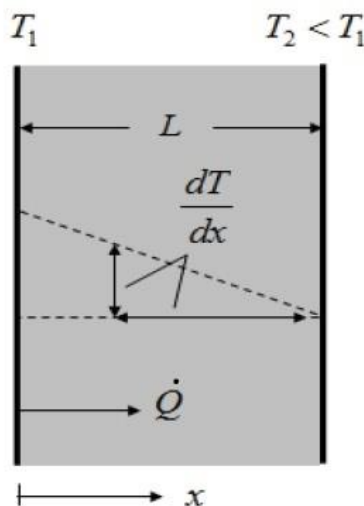
Obr. 1 Způsoby přenosu tepla v automobilu a faktory, které je ovlivňují [3]

- **PŘENOS TEPLA VEDENÍM (KONDUKCE)**

Přenos tepla vedením je charakteristický tím, že je vázán na látku a může tedy probíhat jen mezi bezprostředně sousedícími částicemi hmoty, kdy dochází k přenosu energie od částic s vyšší energií k částicím s nižší energií. Tyto částice mohou být molekuly (u kapalin a plynů) nebo atomy (u tuhých látek). Vyšší teplota je spojena s vyšší energií částice. Vedení tepla popisuje Fourierův zákon. Pro jednorozměrný případ platí [4]:

$$\dot{Q}_{ved} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Kde \dot{Q}_{ved} je tepelný tok přenesený vedením $[W]$, λ součinitel tepelné vodivosti $[W \cdot m^{-1}K^{-1}]$, S plocha přenosu tepla $[m^2]$ a $\frac{dT}{dx}$ teplotní gradient, kde osa x značí směr šíření tepla $[K \cdot m^{-1}]$.



Obr. 2 Přenos tepla vedením v 1 D [5]

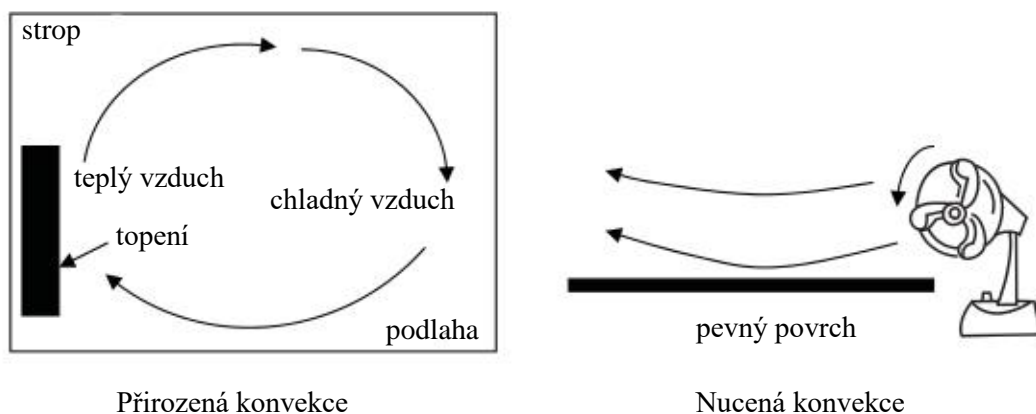
- **PŘENOS TEPLA PROUDĚNÍM (KONVEKCE)**

Přenos tepla konvekcí je realizován v důsledku kombinace dvou mechanismů. Prvním z nich je náhodný pohyb molekul – difúze. Druhým, převládajícím, dějem je makroskopický pohyb tekutiny – advekce. Proudění nastává tehdy, jestliže dochází ke styku kapaliny nebo plynu s tělesem pevného skupenství. Nezbytnou podmínkou pro přenos tepla prouděním je teplotní spád mezi pevným tělesem a okolním prostředím. Pro tento jev platí vztah nazývaný Newtonův ochlazovací zákon [4]:

$$\dot{Q}_k = \alpha \cdot S \cdot (T_w - T_\infty) \quad (2)$$

Kde \dot{Q}_k je tepelný tok přenesený konvekcí $[W]$, α součinitel přestupu tepla $[W \cdot m^{-2}K^{-1}]$, S plocha obtékaného povrchu $[m^2]$, T_w teplota povrchu obtékaného tělesa $[K]$, T_∞ teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu $[K]$.

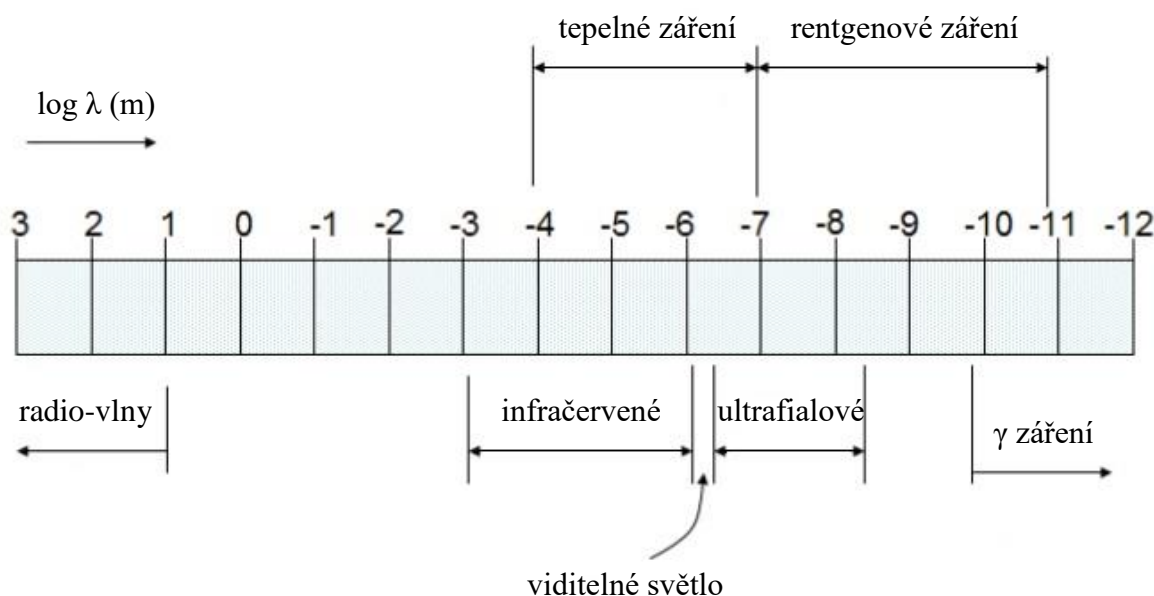
Konvektivní přenos tepla lze rozdělit dle charakteru proudění na konvekci přirozenou a nucenou. Přirozená konvekce vzniká na základě působení vztlačových sil na částice tekutiny, které mají při zvýšení své teploty nižší hustotu a samovolně stoupají do výšky. U konvekce nucené je proudění způsobeno vlivem vnějších sil, např. pohyb vzduchu vyvolaný ventilátorem.



Obr. 3 Ilustrace konvektivního přenosu tepla [5]

- **PŘENOS TEPLA ZÁŘENÍM (RADIACE)**

Zatímco k přenosu tepla vedením i konvekcí bylo zapotřebí hmotné látky, kterou se teplo šířilo, záření (radiace) nepředpokládá existenci zprostředkující látky a může tedy probíhat i ve vakuu. Při tzv. tepelném záření vzniká vyzařovaná energie pouze z energie sálajícího tělesa a energie přijímána absorpcí se mění opět v teplo. Z každého tělesa s teplotou vyšší než 0 K, je vyzařována energie v podobě elektromagnetických vln.



Obr. 4 Rozsah vlnových délek elektromagnetického záření [5]

Maximální tok, který může být z povrchu emitován, je dán tzv. Stefan-Boltzmannovým zákonem [4]:

$$E_0 = \sigma \cdot T_w^4 \quad (3)$$

Kde E_0 je vlastní zářivost černého tělesa [$W \cdot m^{-2}$], σ Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [W \cdot m^{-2}K^{-4}]$, T_w teplota povrchu [K]. Zde se jedná o tzv. černé těleso, což je ideální zářič, který vyzařuje maximální možnou energii. Pro každý reálný povrch platí [4]:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_w^4 \quad (4)$$

Kde ε je poměrná zářivost ($0 \leq \varepsilon \leq 1$) [–]. Dle poměrné zářivosti lze posoudit, jak efektivní je záření z povrchu v porovnání s absolutně černým tělesem.

3 TEPELNÁ POHODA A METABOLIZMUS ČLOVĚKA

Tepelná pohoda je dle ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) definována jako stav mysli, jenž vyjadřuje spokojenost s tepelným prostředím [6]. Tomuto stavu je věnována velká pozornost především proto, že komfortní tepelné podmínky vytvářejí předpoklady pro zdravý a produktivní pobyt cestujících ve vozidle. Vnímání tepelného komfortu je však zcela subjektivní, člověk by v daném prostředí neměl mít pocit ani nepříjemného tepla, ani nepříjemného chladu. V reálné situaci nelze vždy vyhovět každému individuálně a dle indexu PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) je vždy alespoň 5 % nespokojených s daným tepelným prostředím [7].

Základním předpokladem pro dosažení tepelné pohody člověka je stav, při kterém je tělo v tepelné rovnováze s okolím, tzn. že okolí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje. Tento děj lze popsat rovnicí tepelné rovnováhy [8]:

$$\dot{q}_m \cdot (1 - \eta) = \dot{q}_{ved} + \dot{q}_k + \dot{q}_r + \dot{q}_v + \dot{q}_d \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (5)$$

Rovnice (5) vyjadřuje, že hustota metabolického tepelného toku \dot{q}_m vyprodukovaná lidským tělem je rovna hustotě tepelného toku odvedené z těla do okolí vedením \dot{q}_{ved} , konvekcí \dot{q}_k , radiací \dot{q}_r , vypařováním \dot{q}_v a dýcháním \dot{q}_d . Mechanická účinnost η je obvykle velmi malá a lze ji zanedbat.

Rovnici tepelné rovnováhy lze vyjádřit funkční závislostí (6), která vyjadřuje vzájemné vztahy mezi hlavními faktory ovlivňujícími tepelnou pohodu [8].

$$\dot{q}_m = f(R_{cl}, f_{cl}, w, t_a, t_r, \varphi) \quad (6)$$

Kde hustota metabolického tepelného toku \dot{q}_m je funkcí tepelného odporu oděvu R_{cl} , faktoru zvýšení povrchu oblečeného těla vůči ploše nahého těla f_{cl} , rychlosti proudění vzduchu w , teploty vzduchu t_a , střední radiační teploty t_r a relativní vlhkosti vzduchu φ .

3.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPELNOU POHODU

Vnímání tepelné pohody je zajištěno faktory, které jsou závislé na výměně tepla mezi lidským tělem a okolním prostředím a jsou nezbytné pro definování podmínek tepelné pohody. Existuje šest základních faktorů, které jsou klasifikovány do dvou tříd, a to na faktory měřitelné a osobní.

- **FAKTORY MĚŘITELNÉ**

Mezi měřitelné faktory uvnitř vozidla patří teplota vzduchu, relativní vlhkost, střední radiační teplota a rychlost proudění vzduchu. Teplota vzduchu v interiéru závisí na ročním období, místě provozu a velikosti kabiny vozu a dle požadavků na tepelnou pohodu v letním období by měla být v rozmezí 23–28 °C [2].

Relativní vlhkost v rozmezí 30–70 % nemá výrazný vliv na tepelnou pohodu, pokud je však dosaženo hodnoty relativní vlhkosti přes 70 %, je u pasažérů omezeno vypařování potu a dochází k nepříjemnému pocitu parna. Naopak pokud je relativní vlhkost nižší než 30 %, dochází k tomu, že vzduch v kabině je suchý, což má špatný vliv na sliznice [2].

Střední radiační teplota je definována jako homogenní teplota imaginárního černého uzavřeného prostoru, ve kterém jsou tepelné ztráty člověka zářením stejné jako ve skutečném prostoru. Slouží jako vstupní hodnota pro výpočet operativní teploty. K posouzení lokálního sálavého účinku všech okolních ploch je potřeba znát teplotu a pozici každého prvku kolem pasažéra uvnitř vozidla. V automobilech je dle [9] pro sedící osobu měřena střední radiační teplota ve výšce 0,6 m nad podlahou.

Rychlost proudění vzduchu je definována jako průměrná rychlost vzduchu, které je tělo vystaveno. Měření rychlosti proudění je realizováno ve třech úrovních, a to v oblasti hlavy, boků a kotníků. Účelem při regulaci rychlosti vzduchu v kabině je předejít vzniku průvanu.

• FAKTORY OSOBNÍ

Osobní faktory, podmiňující tepelnou rovnováhu lidského těla, jsou metabolismus člověka a tepelný odpor oděvu. Hodnota metabolismu udává tepelný výkon člověka, který závisí především na věku a zdraví jedince, fyzické kondici, úrovni aktivity a prostředí, ve kterém se osoba nachází. Čím intenzivnější aktivitu člověk koná, tím více tepla produkuje. V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty metabolismu při základních činnostech člověka.

K vyjádření hodnoty metabolismu vztažené na jednotku DuBois plochy ($1,8 \text{ m}^2$) je používána jednotka *met*, která je definována jako metabolické teplo produkované člověkem při lehké práci (v sedě): $1 \text{ met} = 58,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ [7].

Tab. 1 Hodnoty metabolismu při základních činnostech člověka [2], [7]

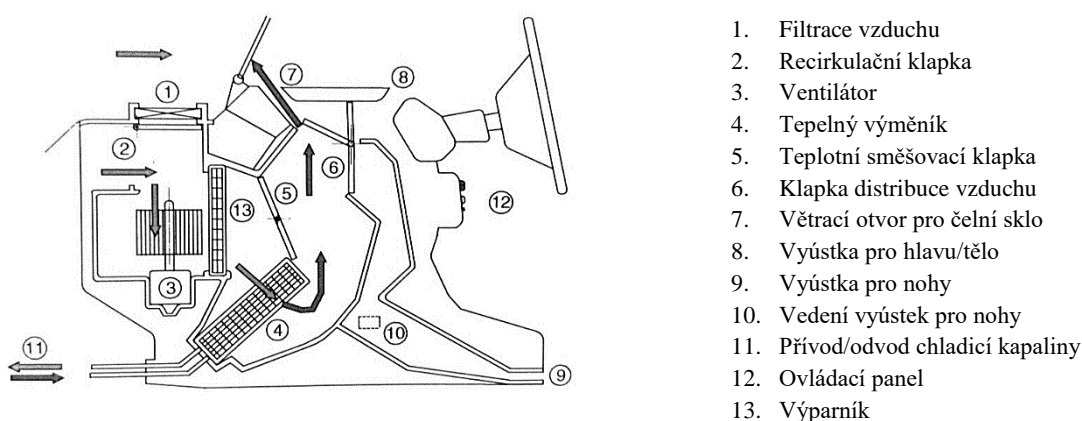
Činnost	Hodnota metabolismu	
	[<i>met</i>]	[$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]
Spánek	0,7	40
Odpočinek v sedě	1	58
Stání, práce v sedě (řízení)	1,2	70
Lehká práce (pomalá chůze)	1,6	93
Těžká práce (domácí práce)	3	175
Velmi těžká práce (sport)	7	410

Oděv chrání lidské tělo před nepříznivými klimatickými podmínkami a ovlivňuje i přenos tepla mezi tělem a okolím. Jednotkou izolace neboli tepelného odporu oděvu je *clo*, která je v jednotkách SI definována jako: $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ [7]. Nejnižší tepelný odpor oděvu je 0 *clo*, čili neoblečený člověk.

4 TECHNOLOGIE PRO ÚPRAVU TEPELNÉHO PROSTŘEDÍ

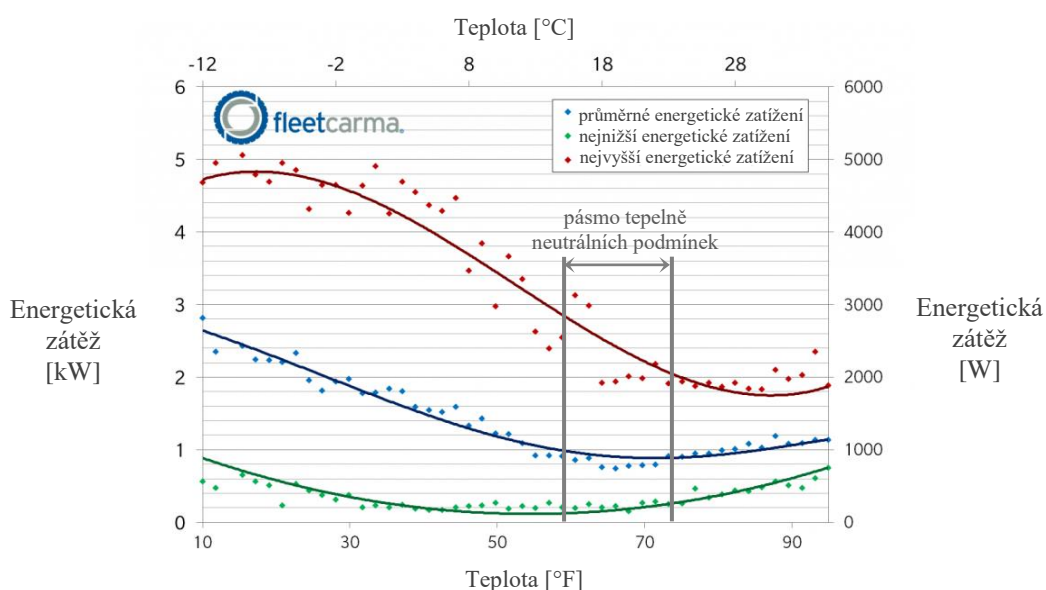
4.1 SOUČASNÝ KONCEPT

Poskytnutí tepelné pohody pro cestující je v kabinách automobilů zajištěno systémem vytápění, větrání a klimatizace (dále jen jako HVAC systém). Do kabiny je prostřednictvím HVAC systému dodáváno teplo nebo chlad prostřednictvím nasávaného vzduchu. Účelem těchto systémů je rovněž poskytnutí bezpečné jízdy formou odmrazování či odmrazování oken a zajištění tak dobrého výhledu z kabiny. V této kapitole je stručně popsán současný koncept HVAC systému v komerčně dostupných automobilech. Obecné schéma, jakým tento systém funguje, je znázorněno na obr. 5.



Obr. 5 Schéma HVAC systému [10]

V České republice se dle [11] pohybuje průměrná roční spotřeba energie vynaložená pro pohon HVAC systémů v elektromobilech okolo 2400 kWh. Skutečnost, že tyto přídatné systémy představují vysokou energetickou zátěž pro elektromobily, ilustruje obr. 6. Reálná data, vyplývající ze 7 375 jízd elektromobilu Nissan Leaf, zobrazují závislost spotřeby elektrické energie přídatných systému na teplotě okolního prostředí.

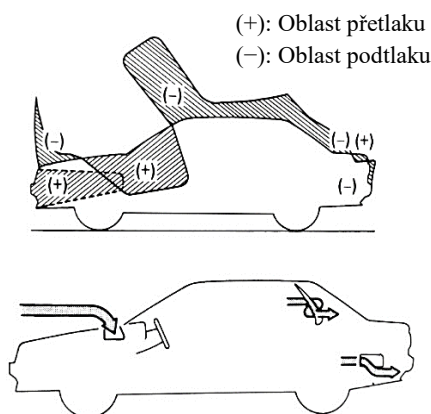


Obr. 6 Závislost energetické náročnosti přídatných zařízení na teplotě – Nissan Leaf [12]

Přídavnými systémy se rozumí zejména HVAC systém, dále pak automobilní osvětlení, elektricky ovládaná okna, audio systém, posilovače řízení a další. Zelená křivka zobrazuje nejnížší energetické zatížení přídavných zařízení. Při tepelně neutrálních podmínkách (15–24 °C), kdy není zapotřebí vytápění či klimatizace, je automobil zatížen vlivem ostatních přídavných systémů, které nejsou závislé na okolní teplotě. Minimální hodnota příkonu těchto systémů se nachází v rozmezí 80–200 W. Nejvyšší energetické zatížení zobrazené červenou křivkou ilustruje, že při odchýlení od tepelně neutrálních podmínek dochází k nárůstu potřebného příkonu. Zejména při nízkých teplotách je pro vytápění zapotřebí maximální příkon 4,8 kW. Pro provoz klimatizace v letním období je maximální příkon odhadem 2 kW. Ze získaných poznatků lze říci, že energetická náročnost HVAC systémů je závislá především na klimatických podmínkách a individuálních požadavcích cestujících.

• VĚTRÁNÍ

Větrací systém udržuje čerstvý vzduch uprostřed kabiny vozidla. Zajišťuje také odvod znečištěného vzduchu do okolí výpustkami v zadní části vozu. V kabině vozu by nemělo nikde nastat nahromadění vydýchaného a znečištěného vzduchu. Rovněž by měla výměna ovzduší probíhat bez hluku a vzniku průvanu, který je pro pohodlí posádky nežádoucí. Výměna vzduchu může probíhat přirozeně na základě rozdílu tlaků při pohybu automobilu dopředu. V tomto případě, jak ilustruje obr. 7, je vhodné umístit příváděcí výpustky do přetlakové oblasti a odváděcí výpustky do oblasti podtlakové. Lze využít i elektricky poháněného ventilátoru v situaci, kdy je buď rychlost automobilu nízká, nebo je požadována během krátké doby rychlá změna tepelného prostředí v kabině [10]. Teplotu vzduchu proudícího do kabiny lze i upravovat, a to buď ohřátím nebo ochlazením.



Obr. 7 Tlakové oblasti a umístění výpustek [10]

• VYTÁPĚNÍ

Systém vytápění je využíván zejména v zimních měsících, kdy je pro zlepšení tepelné pohody zapotřebí vytápnout vnitřní prostor kabiny. Vytápěcí systém slouží také k odmrazování a odmlžování oken pro zajištění bezpečné jízdy. U valné většiny osobních automobilů se k vytápění využívá teplo, které vzniká ve spalovacích motorech při spalování paliva. Toto teplo je odváděno chladicí smyčkou motoru, kde je chladicím médiem kapalina. Lze se setkat i s teplovzdušným topením, avšak jen zřídka.

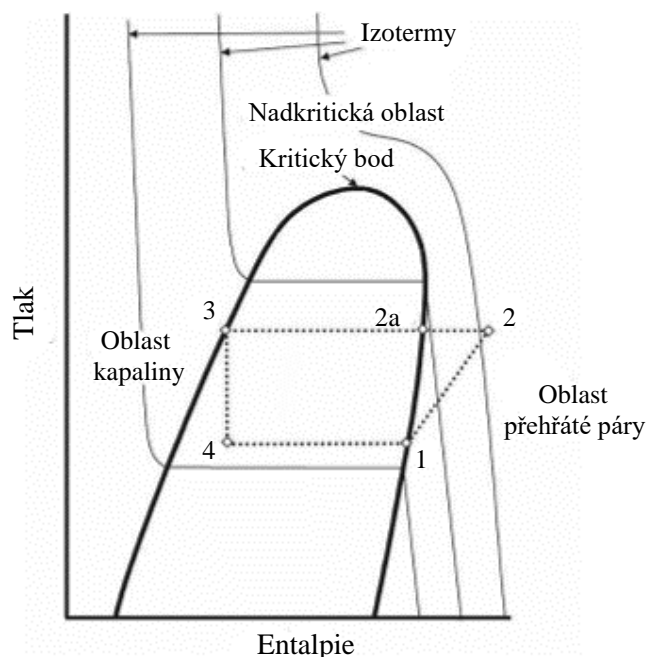
Topný systém se skládá ze dvou okruhů. Prvním uzavřeným okruhem proudí kapalina a je propojený s chladicím okruhem. Druhým otevřeným okruhem proudí vzduch, který je nasáván buď z kabiny, nebo vnějšího okolí.

Při nastartování motoru je chladicí okruh uzavřený a otevírá se až po zahřátí chladicí kapaliny na provozní teplotu. Ta do té doby proudí mezi blokem motoru a tepelným výměníkem. Po dosažení provozní teploty je chladicí okruh otevřen a k ohřáté kapalině je z něj přiváděn studený vzduch. Vzduch ohříváný přes výměník je pak hnán přes systém klapek, kterými proudí do daných průduchů v kabině.

• CHLAZENÍ

Základním principem chlazení je přívod chladného vzduchu do kabiny, kde má za následek snížení teploty vzduchu i povrchů. Slouží rovněž k odvádění přebytečné vlhkosti. V současnosti jsou pro chlazení využívána obvykle kompresorová chladicí zařízení, kterými v uzavřeném cyklu proudí chladivo, dnes nejčastěji používané R134a. Chladivo proudí chladicím okruhem, jehož cyklus ilustruje obr. 8.

Chladicí cyklus začíná v kompresoru (bod 1). Kompresor nasává chladivo, probíhá komprese a dochází k nárůstu tlaku a teploty chladiva. Následně plynné médium prochází kondenzátorem (bod 2), kde se ochlazuje. Na křivce sytosti (bod 2a) chladivo kondenzuje a mění se na směs kapaliny a páry. Kapalně chladivo o vysokém tlaku proudí do expanzního ventilu (bod 3), ve kterém dochází vlivem expanze k poklesu tlaku. Dále proudí do výparníku (bod 4), kde se ohřívá a vypařuje. Aby se chladicí médium mohlo vypařovat, potřebuje teplo, které odebírá nasávanému vzduchu z okolí. V případě recirkulace vzduchu lze využít teplo ze vzduchu v kabině vozu. Také dochází ke změně skupenství z kapalného na plynné. Plynné chladivo je nasáváno znovu kompresorem a cyklus se opakuje [10].



Obr. 8 Podkritický cyklus chladiva R134a [10]

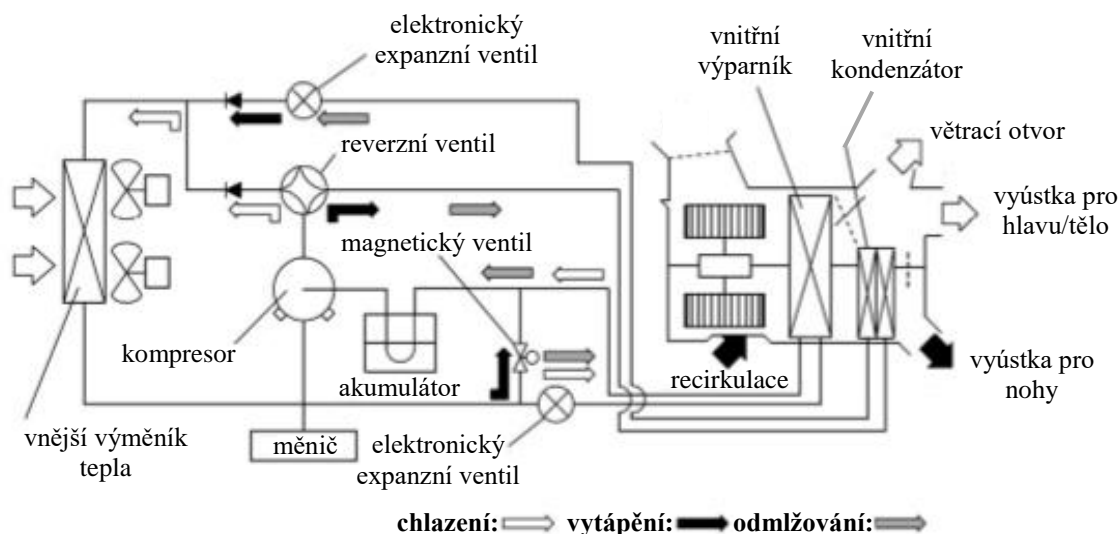
4.2 REVERZIBILNÍ TEPELNÁ ČERPADLA

Systém reverzibilního tepelného čerpadla umožňuje jak chlazení, tak i vytápění kabiny automobilu. Funkce chlazení probíhá prostřednictvím chladicího okruhu včetně vnějšího a vnitřního výměníku tepla a elektricky poháněného kompresoru. Funkce vytápění je zajištěna systémem tepelného čerpadla [13].

- **TEORETICKÝ PRINCIP ZAŘÍZENÍ**

Oproti běžným HVAC zařízením jsou reverzibilní tepelná čerpadla vybavena navíc čtyřcestným neboli reverzním ventilem, který zajišťuje změnu směru proudění chladiva. Jako chladicí médium v okruhu je nejčastěji používáno R134a (cyklus chladiva viz obr. 8). Zdrojem tepla je nízkopotenciální teplo z venkovního vzduchu, které následně slouží pro ohřev pracovního média. Systém tepelného čerpadla v elektromobilech ilustruje obr. 9. Proces chlazení je stejný, jak je uvedeno v předchozí podkapitole. Funkce vytápění je realizována následujícím způsobem:

Z kompresoru jsou páry chladiva vháněny pomocí čtyřcestného ventilu do vnitřního výměníku tepla – kondenzátoru. Zde, vlivem nižší teploty okolí, páry chladiva zkondenzují. Odvedené teplo vyhřívá prostor kabiny prostřednictvím vzduchu. Zkondenzované chladivo proudí přes expanzní ventil do vnějšího výměníku tepla (obvykle umístěného v přední části vozu), kde se vlivem venkovního vzduchu, který je teplejší než chladivo, ohřeje a začne se vypařovat. Chladivo v plynném skupenství proudí čtyřcestným ventilem zpět do kompresoru.



Obr. 9 Systém reverzibilního tepelného čerpadla v elektromobilech [14]

- **PŘÍNOSY A OMEZENÍ**

Výhodou tepelných čerpadel je jejich poměrně vysoký topný i chladicí faktor, který je vždy větší než 1. Experimentálně bylo dle [14] zjištěno, že při okolní teplotě 40 °C byl chladicí faktor roven 2,9, což znamená, že čerpadlo spotřebovalo 1 kWh elektrické energie, aby dodalo 2,9 kWh chladu do klimatizovaného prostoru. Naopak při okolních teplotách pod –10 °C byl zjištěn topný faktor 2,3. V tomto případě lze říct, že 1 kWh elektrické energie poskytne 2,3 kWh energie tepelné.

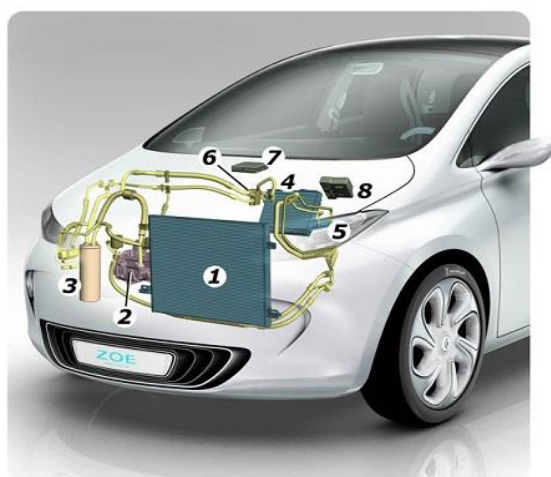
Omezení nastává při poklesu venkovních teplot pod bod mrazu. Konkrétně pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ klesá topný výkon celého systému, protože je náročnější zprostředkovat teplo z okolního vzduchu. V těchto podmínkách může docházet i k zamrznutí výparníku a cyklus je nutné následně obrátit a námrazu nechat rozmrznout. Problém lze částečně vyřešit přídavným externím zdrojem tepla, který využívá odpadní teplo z baterie a řídicích jednotek elektrického motoru. Experimenty ukazují, že použitím přídavného zdroje tepla vzrostl topný faktor na 2,5 při okolních teplotách pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14].

Jelikož se jedná o poměrně složitou konstrukci s mnoha komponenty, může nastat problém i v údržbě a celkové spolehlivosti systému. Také použití chladiva R134a má své nevýhody. Především má destruktivní vliv na ozonovou vrstvu a přispívá ke skleníkovému efektu. Z ekologického hlediska je žádoucí nahradit nynější chladiva alternativní variantou, která je vzhledem k životnímu prostředí šetrná. Současná alternativní chladiva jsou však většinou hořlavá (uhlovodíky), některá i jedovatá (čpavek), vysokotlaká (CO_2) nebo mají nízkou účinnost (nemrznoucí směs, např. s obsahem glycerinu). Při výběru alternativního chladicího média je tedy nutné brát v potaz, kromě ekologického hlediska, i faktory ovlivňující bezpečnost použití daného chladiva a technické požadavky jako účinnost, výkon, rozsah pracovních podmínek a další.

• APLIKACE VE VOZIDLE

Prvním sériově vyráběným elektromobilem s tepelným čerpadlem byl vůz Nissan Leaf. Ten využívá základních principů tepelného čerpadla – vyhřívá kabinu vozidla na základě teplotního rozdílu mezi chladivem a venkovním vzduchem.

Systém reverzibilního tepelného čerpadla použila i automobilka Renault ve svém elektromobilu ZOE. Nejnovější verze ZOE R90 Z.E. 40 (představena na autosalonu v Ženevě 2016) disponuje baterií o kapacitě 41 kWh. Díky reverzibilnímu čerpadlu může být snížena spotřeba na chlazení a topení. Je uváděno, že na 3 kWh tepelné energie je spotřebována 1 kWh elektrické energie.



- 1) vnější výměník 2) kompresor 3) akumulátor
4) vnitřní kondenzátor 5) palubní výparník 6) výpustky
7) automatická klimatizace 8) tepelné čerpadlo

Obr. 10 Systém reverzibilního tepelného čerpadla – Renault ZOE [15]

Světově prvního tepelného čerpadla s přímým vstřikováním plynu chladiva využila automobilka Toyota ve svém nejnovějším plug-in hybridu Prius Prime. Čerpadlo je vybaveno reverzním kompresorem se vstřikovací funkcí. Princip spočívá v odejmutí malého množství kapalného chladiva, které je přes expanzní ventil vstřikováno ve formě studené páry do kompresoru během komprese. Použitím přímého vstřikování lze vylepšit chladicí faktor o 4 % (při teplotě okolí 40 °C) a topný faktor až o 20 % (při okolní teplotě –20 °C) [16].

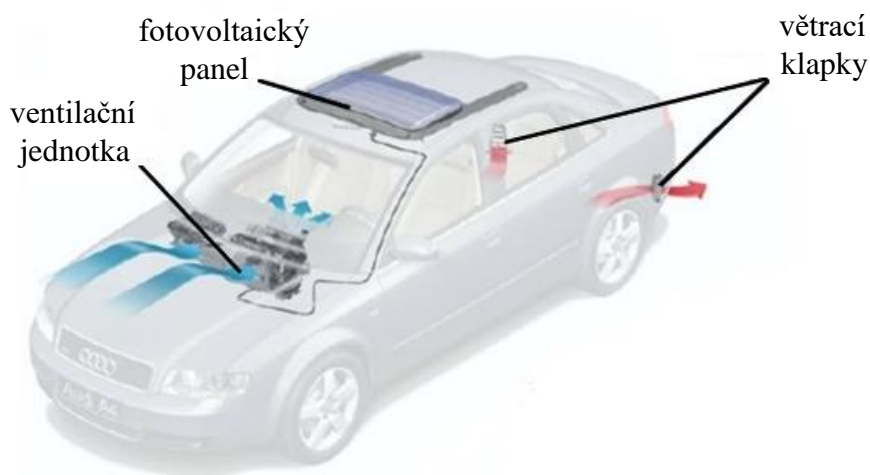
4.3 FOTOVOLTAICKÉ SOLÁRNÍ PANELE

Jako jednomu z druhů obnovitelných zdrojů energie je solární energii věnováno čím dál tím více pozornosti. V mírném klimatickém pásu, kde bývá během letních měsíců průměrná teplota okolo 26 °C, může teplota v automobilu, který stojí přes den na otevřeném parkovišti, dosahovat až 60 °C [17]. Tato skutečnost stojí za vývojem a aplikacemi solárních systémů v automobilech. Ty slouží k pohonu ventilačních jednotek, které umožňují provětrávání kabiny vozu, a tím snížení teploty vzduchu. Mohou být také zdrojem energie pro přídatné systémy v automobilu a také slouží k dobíjení baterie.

Solární systémy mohou být rozděleny do dvou kategorií. První z nich jsou tepelné systémy, které přeměňují solární energii na tepelnou. Druhou kategorií jsou fotovoltaické systémy, kdy dochází k přeměně solární energie na elektrickou [18]. V automobilech bývají aplikovány především systémy fotovoltaické.

- **TEORETICKÝ PRINCIP ZAŘÍZENÍ**

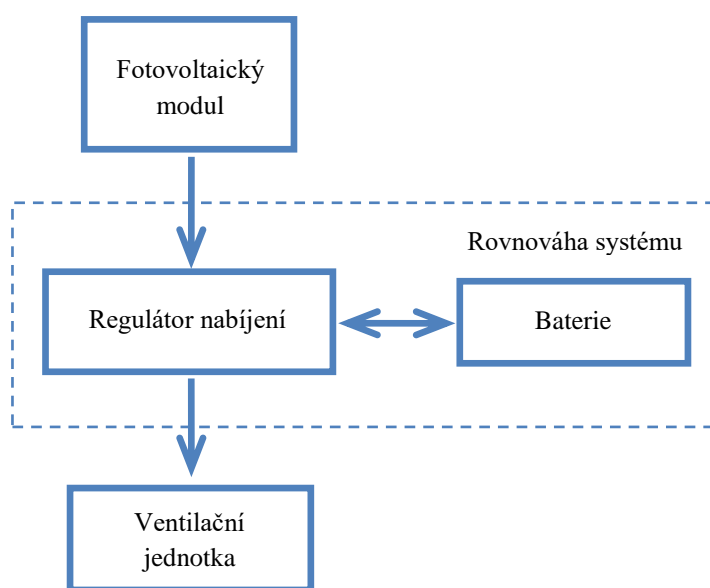
Fotovoltaické panely jsou instalovány buď na střechu automobilů, nebo do střešního okna. Solární záření je absorbováno fotovoltaickými panely a přeměněno na elektřinu. Ta je pak přiváděna buď přímo do ventilační jednotky, nebo nabíjí baterii.



Obr. 11 Princip fotovoltaického ventilačního zařízení – Audi A4 (r. 2001) [19]

Kompletní fotovoltaický systém je složen ze dvou podsystémů. Prvním z nich jsou fotovoltaické panely. Mezi prvním podsystémem a samotnou ventilační jednotkou se nachází

druhý podsystém, který udržuje určitou rovnováhu celé soustavy. Skládá se z měniče, regulátoru nabíjení a baterie. Tato sada zařízení umožňuje, aby vygenerovaná elektřina byla správně využita. Měnič slouží k přeměně stejnosměrného elektrického proudu generovaného fotovoltaickým panelem tak, aby jej bylo možné použít pro pohon ventilační jednotky. Regulátor nabíjení plní funkci regulace napětí a proudu přicházejícího z fotovoltaického modulu do baterie a předchází tak přebíjení baterie. Pokud je baterie plně nabitá, regulátor buď zastaví, nebo sníží příjem proudu. Klíčovou součástí systému je baterie, která funguje jako záloha energie pro systémy využívající obnovitelné zdroje energie. Rovněž slouží jako úložiště generované elektřiny. Baterie musí mít dostatečnou kapacitu pro zvládnutí energetické náročnosti systému, a to zejména v obdobích nízké intenzity slunečního záření. Deštivý den, oblačno nebo noc jsou příklady takovýchto období [20].



Obr. 12 Blokové schéma fotovoltaického ventilačního systému

• PŘÍNOSY A OMEZENÍ

Výhodou solární energie je energetická soběstačnost. Co se týče zdroje energie, jedná se o řešení ohleduplné k životnímu prostředí, jelikož fotovoltaické panely nevyžadují žádné palivo, které by znečišťovalo ovzduší.

Zásadní nevýhodou je závislost na počasí. Při nízké intenzitě slunečního záření klesá účinnost fotovoltaických panelů, která se při ideálních podmínkách pohybuje okolo 14 %. Omezením je i nízký výkon, který je při rozloze panelu 1 m² a maximální intenzitě slunečního záření nanejvýš 100 W [21]. Navíc během několika let vlivem opotřebení panelů výkon klesá. Výrobce [22] uvádí pokles výkonu o 20 % za 25 let.

• APLIKACE VE VOZIDLE

Již několik výrobců vozidel nabídlo automobily vybavené přídavným solárním systémem. Většinou se jednalo o zabudované fotovoltaické panely ve střešním okně, jak lze vidět na obr. 11 u modelu Audi A4 (r. 2001). Zde solární panely slouží především k napájení ventilační jednotky. Stejný systém zabudování panelů využila i automobilka Cadillac u modelu Provoq, jenž je poháněn vodíkovými palivovými články. U tohoto modelu byly solární panely určeny k napájení audio systému a vnitřního osvětlení. Rovněž automobilka

Ford vyvinula solárně napájený hybridní vůz, model Ford C-Max Solar Energi. Stejně jako předchozí model, i tento byl prototyp a zatím není komerčně přístupný.

Nejnovějším komerčně dostupným vozem je Toyota Prius Prime, jenž je prvním sériově vyráběným osobním automobilem na trhu s funkcí volitelného solárního panelu. Jedná se o novou generaci Toyota Prius plug-in hybridu nazvanou Prius Prime. Pro tento model bude celosvětově k dispozici solární panel, který bude moci nabíjet jak klasickou 12 V baterii, tak i 8,8 kWh baterii elektropohonu [23]. Střešní solární panely poskytují zdroj elektřiny pro automobilové osvětlení, elektricky ovládaná okna a klimatizační systém. Výrobce deklaruje prodloužení dojezdové vzdálenosti o dalších 5 km s využitím solárního panelu. Prius Prime disponuje dojezdem na elektřinu 50 km, kdy maximální rychlost jízdy se samotným elektromotorem může dosahovat 135 km/h [24].



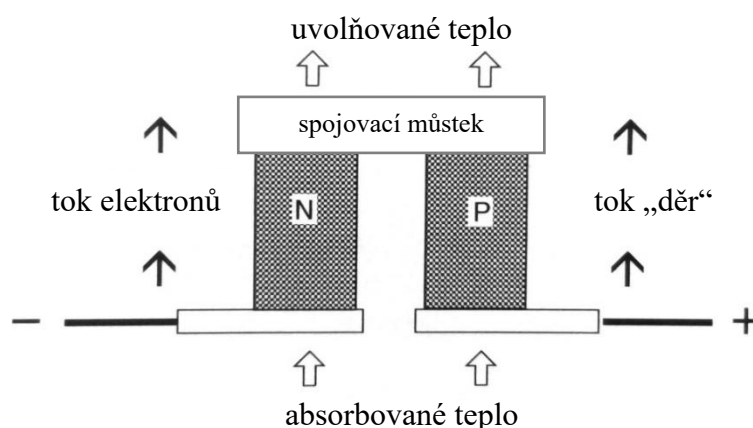
Obr. 13 Střešní fotovoltaický solární panel – Toyota Prius Prime [24]

4.4 PELTIEROVY ČLÁNKY

Peltierovy články jsou termoelektrická zařízení, jejichž technologie je založena na tzv. Peltierově efektu. Tento jev byl objeven Peltierem na počátku 19. století. Nastává tehdy, protéká-li stejnosměrný elektrický proud dvěma různými vodiči. V závislosti na polaritě protékajícího proudu zařízení buď teplo absorbuje (chlazení), nebo uvolňuje (vytápění). Ať už je systém v režimu chlazení či vytápění, jedna strana článku vždy teplo uvolňuje [10].

- **TEORETICKÝ PRINCIP ZAŘÍZENÍ**

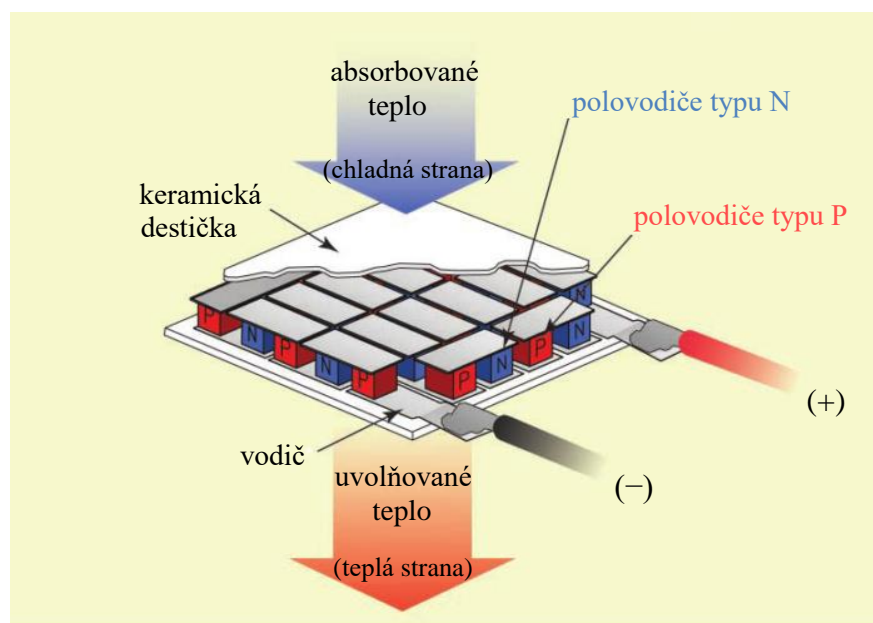
Nejjednodušší podoba Peltierova zařízení je tvořena dvěma články vyrobenými z polovodičového materiálu, většinou kombinace bismutu a telluridu. Jeden článek je z polovodiče typu N, druhý z polovodiče typu P. Oba články jsou pak propojeny, obvykle měděným, spojovacím můstkem, jehož prostřednictvím je do zařízení přiváděna elektrická energie a odváděno (resp. absorbováno) teplo [10].



Obr. 14 Princip Peltierova článku [10]

V případě zapojení článku, jako je na obr. 14, jsou z polovodiče typu N, ve kterém jsou nosičem náboje elektrony, odváděny tyto elektrony směrem od zdroje napětí. Analogicky jsou od zdroje napětí z polovodiče typu P odváděny jeho nosiče náboje – díry. Ve spojovacím můstku dochází k nárůstu počtu volných nosičů náboje a narůstá tak kontaktní napětí mezi spojovacím můstkem a polovodiči. Spojovací můstek se ohřívá, zatímco druhý spoj se ochlazuje [25]. Dojde-li ke změně polarity napájecího proudu, spojovací můstek bude teplo absorbovat, a tím bude ochlazován a druhý spoj bude ohříván.

Termoelektrická zařízení obvykle používána v praxi jsou složena z několika jednotlivých Peltierových článků zapojených do série za účelem dosažení vyššího provozního napětí [25]. Aby bylo dosaženo vyšších teplotních rozdílů, zapojují se Peltierovy články paralelně. V takovém případě musí být zajištěna elektrická izolace mezi jednotlivými termočlánky. Jako izolace jsou obvykle používány destičky vyrobené z keramiky, která plní úlohu jak dobrého elektrického izolantu, tak i dobrého tepelného vodiče [26].

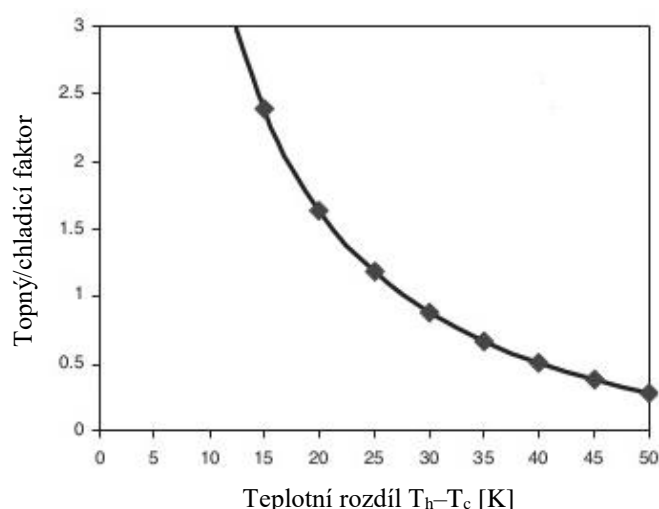


Obr. 15 Termoelektrické zařízení tvořeno Peltierovými články [25]

• PŘÍNOSY A OMEZENÍ

Termoelektrická chladicí zařízení nabízejí výhody v podobě kompaktní velikosti, neobsahují pohyblivé části a žádné pracovní médium. Jsou kompatibilní s napětím elektrické sítě automobilů a lze snadno přepínat mezi vytápěním a chlazením. Zařízení je spolehlivé a teplota je snadno regulovatelná změnou napájecího proudu [27], [28].

Nevýhodou těchto článků je velká spotřeba proudu, což se odráží i na celkové spotřebě automobilu. Při překročení provozních teplot může docházet k přehřívání a je nutné dostatečně chladit teplou stranu, aby byl snížen teplotní rozdíl mezi chladnou (T_c) a teplou (T_h) stranou článku. Důvodem je to, že se vzrůstajícím teplotním rozdílem klesá topný/chladicí faktor termoelektrického zařízení, jak lze vidět z grafické závislosti na obr. 16. Chlazení teplé strany článku je možné zabezpečit například vhodným umístěním ventilátoru.



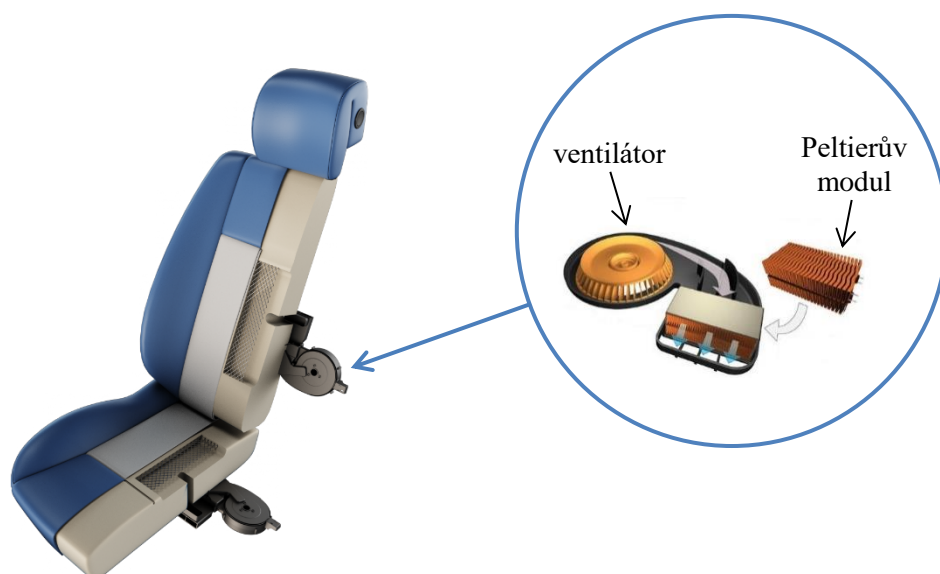
Obr. 16 Závislost topného/chladicího faktoru na teplotním rozdílu při $T_h = 300$ K [29]

I přes své nevýhody jsou Peltierovy články hojně využívány ve zdravotnických a vědeckých zařízeních, kdy hlavními kritérii pro výběr chladicího zařízení jsou vysoká spolehlivost, malé rozměry, nízká hmotnost a přesné řízení teploty. Rovněž byly využity i při aplikacích v automobilech, a to především pro vytápění a chlazení sedadla nebo jako generátory elektrické energie.

• APLIKACE VE VOZIDLE

Ve využití termoelektrických článků stojí v současnosti za zmínku společnost Gentherm, jejímž hlavním produktem jsou vytápění a chlazení sedadla, tzv. Climate Control Seat (CCS) [30].

Použitím integrovaného termoelektrického zařízení v sedadle a opěradle je zajištěno aktivní vytápění nebo chlazení. Ohřívání (ochlazování) vzduch proudí v celém sedadle pomocí ventilátoru. Peltierův modul vzduch ohřívá (ochlazuje) předtím, než začne proudit sedadlem. Celé zařízení pak distribuuje teplý (chladný) vzduch skrz perforované vrstvy v sedadlech. Pokud je Peltierův modul v režimu chlazení, na druhé straně zařízení vzniká teplo, které je nutné odvádět, aby existoval teplotní rozdíl a nedocházelo k přehřívání. Toto tzv. odpadní teplo je uvolňováno do prostoru kabiny [10].

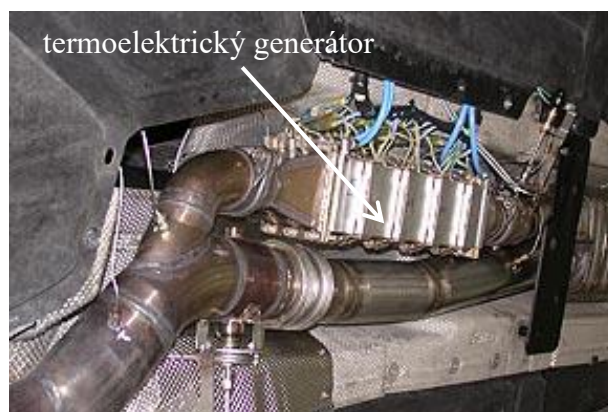


Obr. 17 Climate Control Seat (CCS) společnosti Gentherm [30], [31]

V současnosti jsou běžná vytápěná sedadla založena na principu odporového vodiče a oproti systému s Peltierovým modulem jsou instalovány po celé ploše opěradla a sedadla, jak lze vidět i na obr. 19.

Dalším využitím termoelektrických článků v automobilovém průmyslu jsou termoelektrické generátory. Ty jsou založeny na principu Seebeckova efektu – umožňují přímou přeměnu tepelné energie na energii elektrickou. Jedná se tedy o jev opačný k Peltierově efektu. Této technologie je využíváno zejména k redukci odpadního tepla z výfukových plynů nebo chladičích zařízení. Cílem těchto zařízení je především snížit spotřebu pohonných hmot. U vozidel s hybridním pohonným systémem je tato konfigurace žádoucí z hlediska možnosti dobíjení akumulátoru [28], [32].

Termoelektrické generátory jsou nejčastěji instalovány na výfukovém systému k využití odpadního tepla z výfukových plynů, jak lze vidět na obr. 18.



Obr. 18 Instalace termoelektrického generátoru – BMW třídy 5 [32]

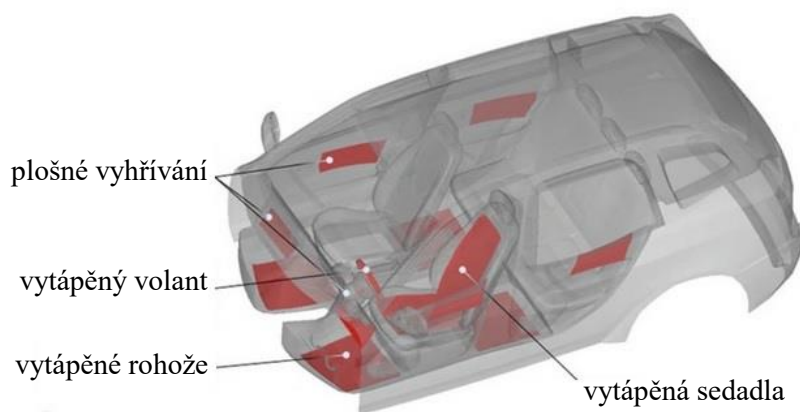
4.5 INFRAVYTÁPĚNÍ

Technologie infravytápění, neboli sálavého vytápění, využívá prostřednictvím tzv. infrapanelů elektromagnetického záření k přenosu tepelné energie přímo na cestující a také okolní předměty, které tepelné záření absorbují a následně konvekcí předávají teplo okolnímu vzduchu.

• TEORETICKÝ PRINCIP ZAŘÍZENÍ

Jeden ze způsobů, jak lze realizovat sálavé vytápění, je založen na využití elektricky vodivého povrchu. Jakmile přes elektricky vodivý povrch protéká elektrický proud, je generováno teplo, které je následně rozptýleno jako infračervené záření. Toto záření prochází vzduchem, aniž by jej zahřívalo. Teplo je tedy poskytováno pouze cestujícím ve vozidle a předmětům, na které teplo sálá. Aby docházelo k přenosu tepla z panelu na pasažéra a ne naopak, měl by panel disponovat topným výkonem alespoň 200 W a mít vyšší teplotu, než je teplota lidského těla [33].

Topný systém je vytvořen jako infrapanel o velké ploše pro sálavé vytápění. V automobilu může být systém aplikován na nosných konstrukcích vozidla, palubní desce nebo dveřních obkladech (viz obr. 19) [33].



Obr. 19 Oblasti aplikace infravytápění [33]

• PŘÍNOSY A OMEZENÍ

Infratopení na rozdíl od konvenčního vytápění pracuje odlišně v tom, že neohřívá okolní vzduch a teplo poskytuje pouze pevným předmětům, které tepelné záření absorbují. Tím lze kompenzovat nízkou střední radiační teplotu okolí, která způsobuje nerovnoměrné rozložení tepla v kabině a následný diskomfort. Zařízení nezpůsobuje průvan a rovněž poskytuje poměrně rychlý ohřev, který však závisí i na rozsahu umístění systému.

Při vypnutí systému v kabině vozu rychle poklesne střední radiační teplota v důsledku toho, že nedochází k ohřevu vzduchu. Nevýhodou použití infravytápění je i to, že působí pouze v prostoru, kde je instalováno. Je-li před ohříváním předmětem překážka, je tepelné záření buď odraženo, nebo absorbováno. Ohříváný předmět by tedy měl mít přímou viditelnost na infrapanel. V závislosti na velikosti panelu, vzdálenosti panelu od ohříváného předmětu, velikosti protékajícího proudu a okolních podmínkách dosahuje povrchová teplota panelu hodnot v rozmezí 60–90 °C, což může při přímém kontaktu způsobit popálení. Riziku poranění lze částečně předejít umístěním panelů na střešní prostor v kabině vozu [34].

- **APLIKACE VE VOZIDLE**

Jednou ze společností, která již představila myšlenku vytápění pomocí infrazářičů v elektromobilech, byla automobilka BMW. Infrapanely měly být instalovány v prostoru pro nohy a na dveřních obkladech. Systém by produkoval minimální množství hluku a nástup účinku by byl v řádu několika minut, nebyla by potřeba ventilátorů ani větracích otvorů. Výrobce deklaruje, že pokud by bylo vozidlo vybaveno tepelným čerpadlem, tak v kombinaci s infravytápěním by mohla být snížena spotřeba energie na vytápění až o polovinu [35].



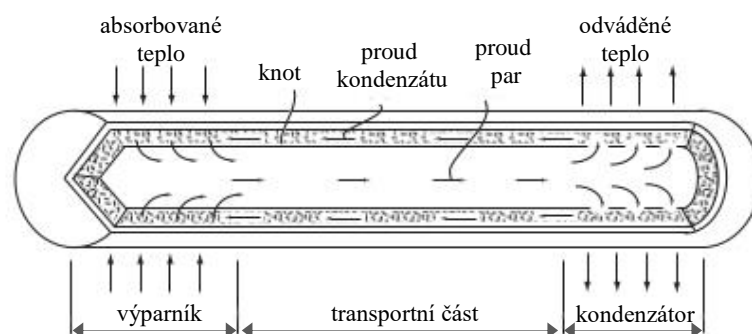
Obr. 20 Prototyp infravytápění ve dveřních panelech – BMW [35]

4.6 HEAT PIPE

Heat pipe jsou zařízení, která slouží k efektivnímu přenosu tepla z jednoho místa na druhé za pomoci par pracovní látky, a to při zachování malého rozdílu teplot (obvykle kolem 2 °C). Například válcová heat pipe o průměru 0,6 cm, délce 15 cm a s vodou jako pracovním médiem je schopna přenést výkon o hodnotě 300 W [36]. Vysoký tepelný výkon a kompaktní velikost heat pipe jsou hlavními faktory pro jejich rozsáhlé aplikace v mnoha technických odvětvích.

- **TEORETICKÝ PRINCIP ZAŘÍZENÍ**

Princip heat pipe je založen na termodynamických vlastnostech pracovní kapaliny, a to vypařování a kondenzaci. Jedná se o hermeticky uzavřený válec naplněný tekutinou. Na jednom konci je výparník, kde je absorbováno teplo z tepelného zdroje. Pracovní látka se začíná vypařovat a vlivem rozdílných tlaků ve válci proudí směrem k druhému ochlazovanému konci, který se chová jako kondenzátor. Zde dochází ke kondenzaci par a odvádění latentního tepla. Navrácení kondenzátu zpět k výparníku je zajištěno pomocí kapilárních sil v porézním materiálu, tzv. knotu, který navíc zabraňuje smíšení kapalně a plynné fáze kapaliny v transportní části heat pipe [36].

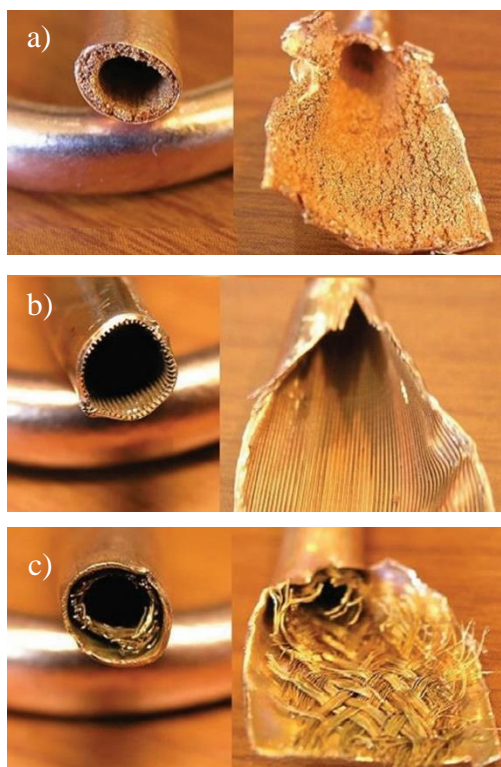


Obr. 21 Struktura heat pipe v řezu [36]

Hlavními součástmi heat pipe jsou pracovní, nejčastěji trubicovitě, pouzdro, pracovní tekutina a knot z porézního materiálu. Funkcí pouzdra je izolace pracovní kapaliny od vnějšího prostředí. Výběr materiálu pouzdra závisí na několika faktorech. Materiál musí být kompatibilní jak s pracovní kapalinou, tak i s vnějším prostředím. Není žádoucí, aby korodoval. Podmínkou je i dobrá tepelná vodivost. Pro dosažení tohoto požadavku je nejvhodnějším materiálem měď a hliník.

Pracovní tekutina musí být také kompatibilní s materiálem pouzdra a porézním materiálem knotu a páry tekutiny musí být schopny kondenzace. Tekutina by měla být co nejčistší, protože jakékoliv nečistoty mohou vytvářet usazeniny na vnitřní straně nádoby, a tím snížit účinnost zařízení. Volba média závisí také na rozsahu provozních teplot jednotlivých aplikací. Například v aplikacích pro chlazení elektroniky jsou používány pracovní tekutiny s teplotami varu v rozmezí 250–375 K. V takovém teplotním rozmezí je nejúčinnější pracovní tekutinou voda. Pro teplotní rozmezí 500–950 K má dobré termodynamické vlastnosti rtuť, která je kapalná při pokojových teplotách, což usnadňuje manipulaci a plnění heat pipe. Pro vysoká teplotní rozmezí nad 1400 K je nejčastěji používaným pracovním médiem lithium [36].

Nejpodstatnější částí heat pipe je knot, jehož účelem je vytvoření kapilárního tlaku pro zajištění transportu pracovní tekutiny z kondenzátoru zpět do výparníku. Existují různé struktury knotu vyrobené nejčastěji na bázi mědi, hliníku a nerezové oceli. Nejběžnější struktury knotu ilustruje obr. 22. V závislosti na velikosti pórů v materiálu se odvíjí i velikost kapilárního tlaku – čím menší je velikost pórů, tím větší je vytvořen kapilární tlak. Dle dané závislosti je k vytvoření největšího kapilárního tlaku nejvhodnější struktura ze slinutého kovu, naopak nejhorší kapilární vlastnosti vykazuje struktura v podobě axiálního drážkování. Důležitým rysem knotu je i jeho tloušťka. Se zvětšující se tloušťkou roste schopnost přenosu tepla [36].



Obr. 22 Různé struktury knotu a) slinutý kov b) axiální drážky c) síťová struktura [37]

• PŘÍNOSY A OMEZENÍ

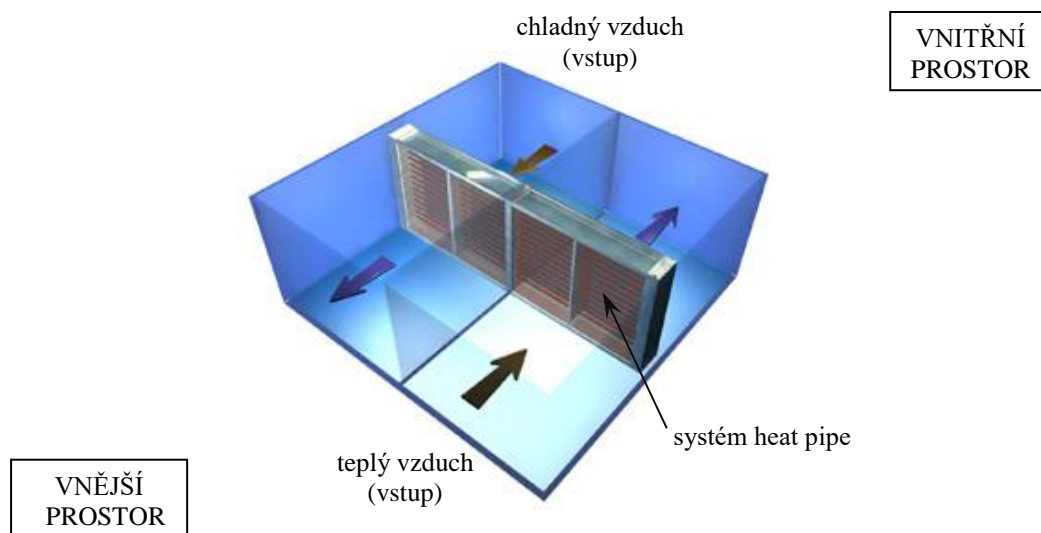
Hlavní předností heat pipe je její vysoká tepelná vodivost, která je mnohonásobně vyšší než u mědi, jež má jednu z nejvyšších tepelných vodivostí. Například pokud je jako pracovní kapalina použita voda, efektivní tepelná vodivost heat pipe je 100 000 W/mK ve srovnání s 400 W/mK pro měď [36]. Díky kapilárnímu jevu v porézním materiálu lze heat pipe použít i v horizontální poloze nebo v uspořádání, kdy je kondenzátor níže než výparník.

Je-li heat pipe zařízení použito mimo jeho konstrukční teplotní rozsah, tepelná vodivost heat pipe je výrazně snížena na tepelnou vodivost materiálu pouzdra. Je to způsobeno tím, že pod daný teplotní rozsah nedojde k fázové přeměně pracovního média, a naopak při překročení horní hranice rozsahu teplot se všechna pracovní látka vypaří a proces kondenzace je zastaven. Nevýhodou jsou i vysoké počáteční náklady.

Ačkoliv jsou dosavadní aplikace heat pipe prozatím využívány převážně v tepelném managementu budov, je zde vysoký potenciál pro použití heat pipe zařízení i v automobilním průmyslu. Důvodem je především vysoká životnost, kompaktní velikost a nízká hmotnost. Heat pipe pracuje bez nutnosti externího zdroje napájení, čehož by bylo možné využít u elektricky poháněných vozidel, kde je spotřeba energie důležitým faktorem.

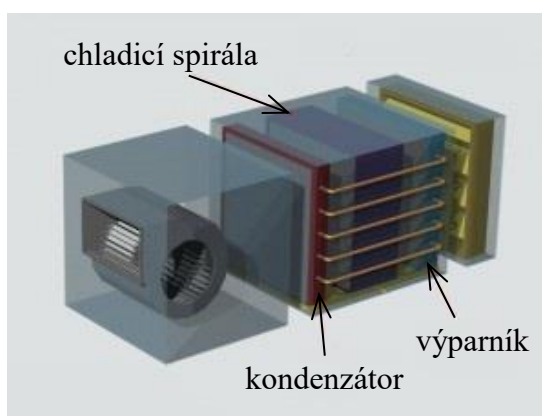
• APLIKACE VE VOZIDLE

Heat pipe jsou jako pasivní systémy používány v budovách v HVAC jednotkách, kde umožňují obnovu značného množství (obvykle 60–70 %) tepelné energie z odpadního vzduchu z klimatizace. Lze si představit dva proudy vzduchu, které jsou odděleny dělicí deskou, která zabraňuje smíšení proudů vzduchu (viz obr. 23). Uvažujme letní období. Na vstupu do klimatizační jednotky proudí zvenčí horký vzduch, na vstupu z klimatizovaného prostoru chladný. Teplotní rozdíl mezi dvěma proudy vzduchu ohřívá a ochlazuje pracovní médium v heat pipe. Fázová přeměna média z kapalné na plynné skupenství a zpět zajišťuje přenos tepelné energie z jednoho proudu na druhý. To způsobuje, že vstupující horký vzduch je ochlazen na teplotu klimatizovaného prostoru a odváděný vzduch je ohříván na venkovní teplotu. Stejného principu lze opačně využít i v zimním období.



Obr. 23 Schéma obnovy tepla aplikací heat pipe v HVAC jednotce [38]

Ke zlepšení odvlhčovacích vlastností s funkcí ohřevu jsou používány heat pipe ovinuté kolem chladicí spirály HVAC systémů. Tyto heat pipe jsou složeny ze dvou částí, a to části předchlazení (výparník) a části opětovného ohřevu (kondenzátor). Výparník je umístěn před chladicí spirálou v místě příchozího proudu vzduchu. Jakmile proudí teplý vzduch skrz výparník, pracovní médium se začíná vypařovat a postupně proudí transportní částí ke kondenzátoru. Protože teplo ze vstupujícího vzduchu bylo již odstraněno, tak při průchodu skrz chladicí spirálu klesne teplota vzduchu pod teplotu rosného bodu, což vede ke kondenzaci a většímu odvodu vlhkosti. Přechlazený vzduch je poté v části opětovného ohřevu ohřán na komfortní teplotu o nižší relativní vlhkosti. Zde je k ohřevu použito teplo původně absorbované výparníkem. Výsledkem je schopnost HVAC jednotky odstranit o 50–100 % více vlhkosti [39].



Obr. 24 HVAC jednotka s heat pipe ovinutou kolem chladicí spirály [39]

4.7 MAGNETOKALORICKÉ CHLAZENÍ

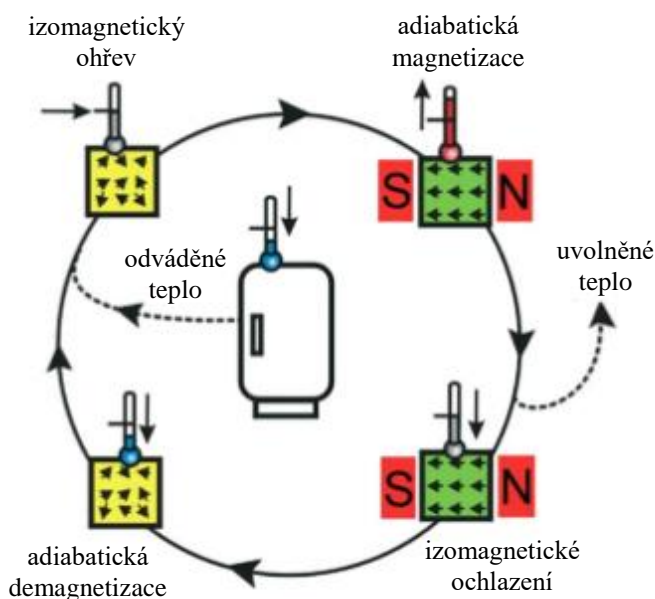
Topné a chladicí systémy jsou v současnosti stále větší výzvou při vývoji elektricky poháněných vozidel, a to především z hlediska snížení spotřeby elektrické energie. V listopadu 2010 byl odstartován evropský projekt nazvaný ICE, který se zaměřuje na rozvoj účinného klimatického a vytápěcího systému, jenž využívá technologie magnetického čerpadla. Tato technologie je založena na tzv. magnetokalorickém jevu (dále jen jako „MCE“, z anglického „magnetocaloric effect“) [40].

• TEORETICKÝ PRINCIP ZAŘÍZENÍ

Pod pojmem magnetokalorické chlazení rozumíme ochlazování pomocí magnetické látky, která slouží jako chladivo. Magnetokalorické chlazení lze pozorovat ve dvou teplotních oblastech. První z nich je chlazení v oblasti nízkých teplot ($T < 20 \text{ K}$) používané pro kryogenné chladicí systémy. Druhou oblastí je oblast pokojových teplot, ve které je schopna provozu běžná chladicí technika jako lednice, a především klimatizační zařízení [41].

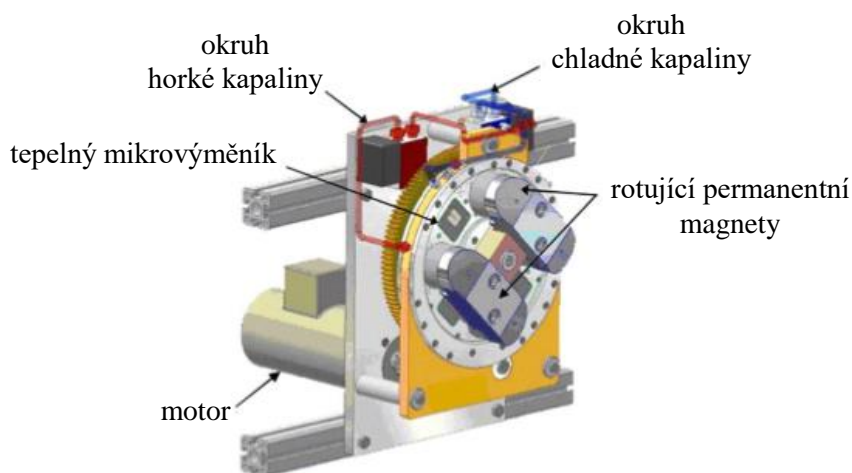
Vývoj magnetokalorického chlazení v oblasti pokojových teplot přispěl k objevu materiálů s výrazným MCE. Princip MCE je založen na změně teploty, a tím i vnitřní energie magnetika v závislosti na změně magnetického pole. Pokud je materiál s výrazným MCE vložen do magnetického pole, ohřeje se. Jestliže je materiál z magnetického pole vyjmut, ochladí se. Při zopakování těchto dějů vícekrát za sebou vznikne tepelné čerpadlo, které z jedné oblasti

teplo odebírá a v druhé jej uvolňuje. Výměna tepla probíhá mezi magnetikem a tepelnými výměníky. Výměnu zajišťuje tekutina, která protéká porézním magnetickým materiálem. Většinou je používána voda nebo směs vody a látky, která tvoří s vodou nemrznoucí směs.



Obr. 25 Schématický diagram magnetokalorického chlazení [14]

Na obr. 25 lze vidět schéma principu magnetokalorického chlazení. Prvním krokem cyklu je adiabatická magnetizace, kdy vložením magnetika do magnetického pole dojde k jeho zahřátí. Následuje ochlazení za konstantního magnetického pole – izomagnetické chlazení. Kapalina z chladného tepelného výměníku protéká magnetickou látkou a absorbuje magnetizační teplo, které následně odvádí do teplého tepelného výměníku. Poté nastává adiabatická demagnetizace, kdy vyjmutím magnetika z magnetického pole dojde k jeho ochlazení. Posledním krokem je izomagnetický ohřev. Kapalina z teplého tepelného výměníku protéká magnetikem, ochlazuje se a proudí do chladného tepelného výměníku. Kapalina protékající magnetickou látkou je ochlazována na teplotu nižší, než je teplota chladného tepelného výměníku a je poté schopna absorbovat teplo z okolí.



Obr. 26 Prototyp magnetokalorického tepelného čerpadla [14]

MCE byl upozorován již u mnoha chemických prvků, avšak aby bylo vhodné použít daný prvek k magnetokalorickému chlazení, musí splňovat několik podmínek. V první řadě je požadován co největší MCE při co nejmenší změně magnetického pole. Pro zajištění výrazné změny teploty a snadné výměny tepla s teplotonosnou látkou by měl materiál disponovat malou měrnou tepelnou kapacitou a velkou tepelnou vodivostí. Je požadována i dlouhodobá chemická stálost prvku, jeho snadná příprava a opracovatelnost. Z ekonomického hlediska je kladen důraz na nízkou výrobní cenu materiálu, kde je zahrnuta rovněž cena výchozích surovin a náklady na zpracování. Poměrně přísné požadavky splňuje jen málo materiálů vhodných k magnetokalorickému chlazení v oblasti pokojových teplot. Jedním z vhodných prvků je kov gadolinium (Gd), který je snadno opracovatelný a vykazuje dobrou tepelnou vodivost. Výrazný MCE však vykazuje pouze chemicky čisté Gd, což se poté výrazně odrazí na celkové ceně materiálu [41].

• PŘÍNOSY A OMEZENÍ

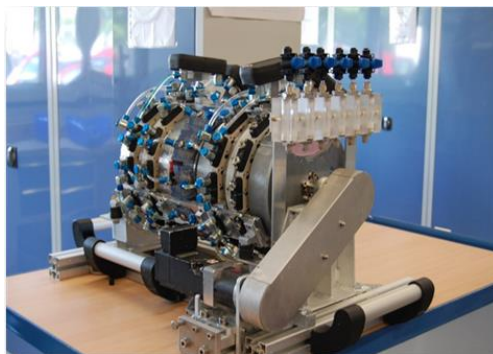
Magnetické chlazení používá jako zdroj magnetického pole permanentní magnety, které zabezpečují plynulý chod zařízení. Jelikož je frekvence magnetokalorického cyklu obvykle 1–3 Hz a rychlost otáčení je tím pomalá, je zajištěn tichý provoz zařízení [42]. V porovnání se současnými komerčními metodami má magnetické chlazení mnohem vyšší účinnost, která dosahuje až 60 % a topný i chladicí faktor se pohybuje v rozmezí 3–7 [14]. Mohou fungovat i v oblastech mimo gravitační pole Země a vydrží dlouhou dobu pracovat samostatně, bez zásahu člověka.

Hlavním omezením této technologie je dodávka magnetokalorických materiálů, které jsou velmi vzácné. Snížením potřebného množství materiálu nebo objevem nových prvků s požadovanými vlastnostmi by mohla být zajištěna snadnější dostupnost a výroba zařízení.

• APLIKACE VE VOZIDLE

V rámci projektu ICE byl vyvinut společností COOLTECH inovativní mobilní klimatizační systém (viz obr. 27), který byl následně aplikován do elektrického minibusu IVECO–ALTRA. Jednotka, jejímž jádrem je magnetokalorické čerpadlo, byla instalována do zadní části vozu [43].

Elektrický minibus IVECO–ALTRA je napájen třemi bateriemi ZEBRA s celkovou kapacitou 63,6 kWh, díky které má vozidlo dojezd 100 km. Je-li použita běžná 5 kW HVAC jednotka s chladicím faktorem 2,5, znamená to při provozu klimatizace v letním období spotřebu 2,5 kWh, což za 10 h provozu činí 25 kWh spotřeby energie navíc a snížení dojezdu ze 100 km až na 60 km, zatímco při použití magnetokalorického klimatizačního systému, který má až dvojnásobnou účinnost, se při stejných podmínkách sníží dojezd asi na 80 km [40].



Obr. 27 Prototyp magnetokalorické klimatizační jednotky společnosti COOLTECH [43]

5 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Pro zdravý a komfortní pobyt v kabinách automobilů je důležitým aspektem úprava mikroklimatu ve vozidle, a tím dosažení tepelné pohody, která úzce souvisí s metabolismem a fyziologií člověka. Aby bylo dosaženo požadovaného tepelného komfortu, musí být splněn předpoklad tepelné rovnováhy cestujícího s okolím, tzn. že okolí odebere tělu tolik tepla, kolik právě produkuje. V zimním období však odebírá prostředí tělu příliš mnoho tepla a pocit chladu je potřeba kompenzovat prostřednictvím vytápění. Naopak v letním období tělo teplo přijímá a je žádoucí snižování teploty formou chlazení.

Tepelné prostředí kabin automobilů je standardně upravováno systémem větrání, vytápění a chlazení. V České republice, která se nachází v mírném klimatickém pásmu, je vzhledem k rozmanitému podnebí v průběhu roku zapotřebí jak vytápění, tak i chlazení. Tyto požadavky pokrývá standardní současný koncept HVAC systému. Vzhledem k energetické náročnosti systému, jejímž důsledkem je snížení dojezdové vzdálenosti elektromobilů, je v současnosti snaha nahrazovat tato zařízení pokročilými technologiemi, které rovněž minimalizují dané tepelné zatížení cestujících, ale při menší spotřebě elektrické energie.

• HVAC SYSTÉMY

Z komerčně dostupných technologií lze se současným konceptem srovnat reverzibilní tepelná čerpadla. Od běžných HVAC jednotek se liší svou konstrukcí, a to tak, že chladicí okruh a tepelné čerpadlo tvoří jeden systém, jenž je vybaven navíc čtyřcestným ventilem, který slouží ke změně směru toku chladicího média. Z pohledu konstrukce může nastat problém ve spolehlivosti zařízení, jelikož se jedná o poměrně složitý systém s mnoha komponenty.

Jako zdroj tepla využívají tyto systémy nízkopotenciální teplo z venkovního vzduchu, které následně slouží pro ohřev pracovního média, nejčastěji R134a. V tomto případě by bylo z energetického hlediska k minimalizaci potřebné energie vhodnějším řešením recirkulace vzduchu z kabiny místo využití tepla z venkovního vzduchu. Obnova odpadního vzduchu uvnitř vozu je pro systém efektivnější a méně náročná, než zprostředkování příliš horkého nebo naopak příliš chladného vzduchu z vnějšího okolí. Důkazem je i to, že dle provedené rešerše topný faktor reverzibilního tepelného čerpadla pod teplotu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ klesá.

Řešením problematiky chlazení i vytápění je použití magnetokalorického chlazení, které pracuje na principu tepelného čerpadla. Tento systém využívá k ochlazování magnetickou látku, která je vložena do magnetického pole ohřívána a vyjmutím ochlazována. Médium protékající magnetikem v dané fázi buď teplo do okolí uvolňuje nebo z něj teplo absorbuje. Zde je v porovnání s reverzibilními tepelnými čerpadly využito šetrnějšího chladicího média, kterým bývá nejčastěji voda nebo směs vody a látky tvořící s vodou nemrznoucí směs.

Technologie je přínosná z hlediska své vysoké účinnosti. Topný i chladicí faktor je v porovnání s reverzibilními tepelnými čerpadly téměř dvojnásobný, což se projeví na menším snížení dojezdové vzdálenosti.

Pro názornou ukázkou energetické náročnosti vybraných systémů v automobilech je uvažován elektromobil Nissan Leaf. Kapacita baterie tohoto vozu je 24 kWh a dle metodiky nového evropského jízdního cyklu (NEDC) ujede automobil na jedno plné nabití 200 km při průměrné rychlosti 60 km/h [44]. Z toho vyplývá, že na 100 km jízdy je potřeba 12 kWh energie a 1,7 h (tj. 1 h 42 min). Na základě obr. 6 lze odhadnout maximální tepelný výkon HVAC systému pro vytápění 5 kW a pro chlazení 2 kW.

V následujících tabulkách je srovnáno použití systému reverzibilního tepelného čerpadla, magnetokalogického chlazení a v případě zimního období i odporového vytápění. V tab. 2 je demonstrován případ pro zimní období, kdy je spočten elektrický příkon, potřebný pro dodání 5 kW tepelného výkonu. V tab. 3 je uvažováno letní období, kdy je potřeba do klimatizovaného prostoru dodat 2 kW chladu. V závislosti na spotřebě HVAC systému po 100 km jízdy průměrnou rychlostí 60 km/h je vypočteno snížení dojezdové vzdálenosti. Pro topný i chladicí faktor magnetokalogického čerpadla je v obou případech uvažována průměrná hodnota 5.

Tab. 2 Závislost snížení dojezdu na spotřebě HVAC systému na 100 km jízdy – zimní období

Technologie	Topný faktor	Elektrický příkon	Spotřeba energie	Snížení dojezdu
	[–]	[kW]	[kWh]	[km]
Odporové vytápění	1	5	8,5	71
Reverzibilní tepelné čerpadlo	2,3	2,1	3,6	30
Magnetokalogické čerpadlo	5	1	1,7	14

Tab. 3 Závislost snížení dojezdu na spotřebě HVAC systému na 100 km jízdy – letní období

Technologie	Chladicí faktor	Elektrický příkon	Spotřeba energie	Snížení dojezdu
	[–]	[kW]	[kWh]	[km]
Reverzibilní tepelné čerpadlo	2,9	0,7	1,2	10
Magnetokalogické čerpadlo	5	0,4	0,7	6

Z vypočtených hodnot lze říci, že výběr HVAC systému má výrazný vliv jak na spotřebovanou energii, tak i dojezdovou vzdálenost. Rozdíl je znatelný zejména v zimním období, kdy konvenční odporové vytápění spotřebuje na 100 km jízdy průměrnou rychlostí 60 km/h 8,5 kWh energie, což odpovídá 71 km jízdy. Zatímco použitím reverzibilního tepelného čerpadla je spotřeba energie o 58 % nižší, a v případě magnetokalogického tepelného čerpadla nižší o 80 %. Stejně tak je i výrazně nižší snížení dojezdové vzdálenosti.

V letním období se rozdíl ve spotřebě energie reverzibilního a magnetokalogického čerpadla výrazně neliší a rovněž tak i snížení dojezdové vzdálenosti, avšak při větší ujeté vzdálenosti, a tím i delší době jízdy, by byl rozdíl znatelnější.

Vedle nyní využívaných systémů nacházejí potenciál využití v HVAC jednotkách i heat pipe zařízení, která jsou v současnosti uplatňována v tepelném managementu budov. Díky pasivitě systému nevyžadují externí zdroj napájení, což by mělo pozitivní vliv na spotřebu elektrické energie v elektromobilech. Lze by je bylo možno využít i k rekuperaci odpadního tepla z kabiny a ke snižování relativní vlhkosti. Rovněž je možné aplikovat heat pipe k zužitkování

odpadního tepla pro posádku získaného z akumulátoru a řídicích jednotek elektrického motoru a také by tím mohlo být kontrolováno případné přehřívání baterie.

- **DOPLŇKOVÉ SYSTÉMY**

Kabiny automobilů jsou kromě HVAC systémů často vybaveny i doplňkovými systémy, které zajišťují lokální komfort. Jedná se nejčastěji o vyhřívání sedadla, volant, možnosti jsou i větraná sedadla, zařízení k provětrávání kabiny či redukci nízké střední radiační teploty.

Vyhřívání sedadla lze zabezpečit, kromě konvenčního odporového vytápění, i instalací Peltierových článků. Díky svým kompaktním rozměrům je možno místo celé plochy sedadla integrovat zařízení do jednotlivých oblastí sedadla a tím vytápět konkrétní místa lidského těla. Při provozu Peltierova zařízení je však potřeba předejít přehřívání a zajistit teplotní rozdíl teplé a chladné strany v rozmezí 15–20 °C, protože při vysokém teplotním rozdílu stran článku dochází k poklesu topného i chladicího výkonu a v případě vytápění může dojít i k popálení kontaktních částí těla.

Pomocí termoelektrických článků lze poskytnout i provětrávání sedadel v podobě ventilátoru, jehož součástí je Peltierův modul. Ventilační zařízení poté zajišťuje odvod přebytečné vlhkosti z pokožky cestujících a ochlazuje tím kontaktní části těla.

Doplňkovým systémem určeným k provětrávání kabiny vozu jsou fotovoltaické solární panely. Technologie má své výhody v tom, že poskytuje výměnu vzduchu v kabině i tehdy, když je vůz zaparkovaný na otevřeném parkovišti. Pomocí solárního systému lze napájet i přídatné systémy jako audiosystém, elektrický ovládaná okna, automobilní osvětlení a další. Funkčnost zařízení je však zásadně podmíněna klimatickými podmínkami.

K redukci nízké střední radiační teploty slouží infravytápění, kdy je elektromagnetické záření absorbováno cestujícími a okolními předměty. Omezením infrapanelů je použití pouze v zimním období k vytápění. Nelze je využít ke klimatizaci prostoru a v letním období je zapotřebí jiného systému.

- **VIZE BUDOUCÍHO TEPELNÉHO MANAGEMENTU KABINY**

Účelem optimálního tepelného managementu vozidel je snižování dané tepelné zátěže cestujících a poskytnutí tepelného komfortu takovým způsobem, aby byla co možná nejefektivněji využívána energie, a tím redukována její spotřeba. Pro vylepšení současného konceptu HVAC zařízení by byla vhodnou variantou instalace heat pipe zařízení v HVAC jednotkách, především díky své pasivitě, spolehlivosti a kompaktní velikosti.

Inovativní technologií, která má potenciál nahradit konvenční systémy, je magnetokalorické tepelné čerpadlo. Vzhledem ke svému vysokému topnému i chladicímu faktoru by bylo možné pozitivně ovlivnit spotřebu elektrické energie. Výzkum této prozatím prototypní technologie by mohl být zaměřen na objev dostupnějších magnetokalorických materiálů, neboť dávka vhodných materiálů vykazujících magnetokalorické chování je problematická, stejně jako i zajištění chemické čistoty daného prvku. Rovněž by bylo vhodné zaměřit se na konstrukci kompaktnějších rozměrů, jelikož se jedná o poměrně komplexní systém.

Pro zkvalitnění lokálního komfortu je vhodným doplňkovým systémem fotovoltaický solární systém, který zajistí výměnu vzduchu v kabině. Zařízení je však vhodné především v letním období, kdy je vysoká intenzita slunečního záření a provětrávání kabiny je žádoucí. Naopak

v zimním období by bylo vhodné využití infravytápění, které by kompenzací nízké střední radiční teploty eliminovalo diskomfort způsobený nerovnoměrným rozložením teploty v kabině.

Peltierovy články nejsou vzhledem ke své nízké účinnosti a vysoké spotřebě proudu zcela vhodnými doplňky k úpravě tepelného komfortu. Využití nacházejí spíše jako termoelektrické generátory na výfukovém systému spalovacích motorů. Podobné konfigurace by bylo možné využít i u elektromobilů aplikací na akumulátor k využití odpadního tepla. Stejně jako u heat pipe zařízení by tím bylo zabráněno přehřívání baterie. Získaná elektrická energie z odpadního tepla by navíc mohla sloužit k dobíjení baterie nebo jako doplňkový zdroj pro napájení přídatných systémů.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vypracování rešerše zabývající se moderními technologiemi pro úpravu tepelného prostředí v automobilech s alternativními pohony. Těžisko práce spočívá ve zmapování dostupných současných systémů, které zajišťují tepelnou pohodu v kabinách automobilů prostřednictvím větrání, vytápění a klimatizace.

V úvodní části práce byly definovány formy přenosu tepla, prostřednictvím kterých dochází k tepelné výměně mezi cestujícími a kabinou vozu a rovněž mezi kabinou a okolním prostředím. Ve vztahu k danému prostředí a metabolismu člověka bylo popsáno šest základních faktorů, měřitelných a osobních. Tyto faktory jsou navzájem nezávislé, avšak společně se významně podílí na výsledném tepelném stavu prostředí. Nutno zdůraznit, že spokojenost s tepelným prostředím je zcela subjektivním pocitem a dle indexu PPD je vždy alespoň 5 % nespokojených s daným prostředím. Dále bylo zjištěno, že tepelná pohoda je nejvýrazněji ovlivněna konvekcí a radiací, z čehož vyplývá, že tepelný komfort v kabině automobilu je možno upravovat právě prostřednictvím konvekce a radiace.

Rešeršní část práce se zabývá charakteristikou vybraných moderních technologií. Pozornost byla věnována popisu jednotlivých zařízení z hlediska teoretického principu funkce, jejich přínosů a omezení a aplikace systému ve vozidlech. Na základě poznatků z rešerše byl nastíněn návrh jak k zdokonalení dostupných systémů, tak i k potenciálnímu využití prototypních technologií. Například prototypní systém magnetokalorického tepelného čerpadla má vysoký potenciál pro nahrazení současných jednotek vzhledem k jeho vysokému topnému i chladicímu faktoru, avšak omezením pro komerční využití je problematická dodávka materiálů vykazujících magnetokalorické chování.

Jako ilustrativní příklad energetické náročnosti vybraných systémů byly v závěru práce vytvořeny dva zjednodušené předpoklady pro provoz v zimním a letním období. K srovnání bylo uvažováno reverzibilní a magnetokalorické tepelné čerpadlo a v případě zimního období i odporové vytápění. Na základě známých parametrů a odhadu energetické náročnosti elektromobilu Nissan Leaf a topných i chladicích faktorů vybraných technologií byl vypočten potřebný elektrický příkon k pokrytí požadavků na vytápění a chlazení. V závislosti na spotřebě HVAC systému po 100 km jízdy průměrnou rychlostí 60 km/h bylo vypočteno snížení dojezdové vzdálenosti. Magnetokalorické čerpadlo vykazovalo lepší vlastnosti ve všech oblastech, významné je především snížení dojezdové vzdálenosti po 100 km jízdy o 14 km místo o 30 km (reverzibilní tepelné čerpadlo) a 71 km (odporové vytápění).

Vylepšení současných HVAC jednotek směřuje také k aplikaci heat pipe zařízení, jelikož v tepelném managementu budov vykazují velmi dobré vlastnosti, a tím by mohly být využity i k úpravě tepelného prostředí v automobilech. Kromě toho lze tepelné prostředí automobilů lokálně zkvalitnit i doplňkovými systémy. V případě fotovoltaických solárních panelů se jedná o výměnu vzduchu formou provětrávání. Infravytápěním je možné kompenzovat nízkou střední radiační teplotu a Peltierovými články lze poskytnout kontaktní vytápění a větrání sedadel.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FARRINGTON, R. a RUGH, J.: Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range. *Earth Technologies Forum*. 2000, (), 0028960-. DOI: NREL/CP-540-28960. Dostupné také z: <http://www.smesfair.com/pdf/airconditioning/28960.pdf>
- [2] SIMION, M., SOCACIU, L. a UNGURESAN, P.: Factors which Influence the Thermal Comfort Inside of Vehicles. *Energy Procedia* [online]. 2016, **85**, 472-480 [cit. 2017-04-07]. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.12.229. ISSN 18766102. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610215028945>
- [3] PAULKE, S., ELLINGER, M. a WAGNER, S.: *Workshop on mobile air conditionnig and auxiliaries – ATA/CRF*. 2. vyd. Torino, 2007.
- [4] JÍCHA, M.: *Přenos tepla a látky*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021420294.
- [5] LONG, C. a SAYMA, N.: *Heat Transfer* [online]. 1. vyd. Bookboon, 2009 [cit. 2016-11-24]. ISBN 978-87-7681-432-8. Dostupné z: <http://nsdl.niscair.res.in/jspui/bitstream/123456789/1090/1/heat-transfer.pdf>
- [6] *Standard 55-2013 user's manual: ANSI/ASHRAE standard 55-2013, Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, 2013.
- [7] AULICIEMS, A. a SZOKOLAY, S.: Thermal comfort. *PLEA Notes*. 2007, , 66-66. DOI: 10.1007/s00484-010-0393-2. ISBN 0867767294. Dostupné také z: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Szokolay e Auliciems, 1997.pdf>
- [8] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí*. 1. vyd. Brno: VUT, 2010, 201 s. ISBN 802140258X.
- [9] ISO 7726. *Ergonomics of the thermal environment - Instrument for measuring physical quantities*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 1998.
- [10] DALY, S.: *Automotive air-conditioning and climate control systems*. 1st ed. Boston: Elsevier Butterworh-Heinemann, 2006. ISBN 9780750669559.
- [11] KAMBLY, K. a BRADLEY, T.: *Author ' s personal copy Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles Author ' s personal copy*. 2014, **259**.
- [12] Real-world range ramifications: heating and air conditioning. *FleetCarma* [online]. 2014 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.fleetcarma.com/electric-vehicle-heating-chevrolet-volt-nissan-leaf/>

- [13] POMMÉ, V.: *Reversible Heat Pump System for an Electrical Vehicle* [online]. In: . b.r., s. - [cit. 2017-03-26]. DOI: 10.4271/971772. Dostupné z: <http://papers.sae.org/971772/>
- [14] QI, Z.: Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, **38**, 754-764 [cit. 2017-03-26]. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.038. ISSN 13640321. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114004900>
- [15] Zoe Information. *My Renault ZOE electric car* [online]. b.r. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://myrenaultzoe.com/index.php/zoe-description/>
- [16] JUNG, J., KIM, D., AHN, J. a KIM, Y.: *A theoretical model for a gas injection heat pump used in electric vehicles*. [online]. 7th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning, ACRA 2014 - Jeju Island, Korea, Republic of: Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, SAREK, 2014 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <https://koreauniv.pure.elsevier.com/en/publications/a-theoretical-model-for-a-gas-injection-heat-pump-used-in-electri>
- [17] HUANG, K.D., TZENG, S.C., MA, W.P. a WU, M.F.: Intelligent solar-powered automobile-ventilation system. *Applied Energy* [online]. 2005, **80**(2), 141-154 [cit. 2017-02-23]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2004.03.010. ISSN 03062619. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261904000509>
- [18] GUGULOTHU, R., SOMANCHI, N., BANOTH, H. a BANOTHU, K.: A Review on Solar Powered Air Conditioning System. *Procedia Earth and Planetary Science* [online]. 2015, **11**, 361-367 [cit. 2017-02-23]. DOI: 10.1016/j.proeps.2015.06.073. ISSN 18785220. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878522015001241>
- [19] WACHSMUTH, C.: *Precooling Strategies for Passenger Vehicles*. Port Elizabeth, South Africa, 2009. Research Dissertation. Magister Technologiae: Mechanical Engineering, Nelson Mandela Metropolitan University. Vedoucí práce Prof. Dr.-Ing. T.I. van Niekerk Prof. Dr.-Ing. H. Holdack-Janssen.
- [20] DAUT, I., ADZRIE, M., IRWANTO, M., IBRAHIM, P. a FITRA, M.: Solar Powered Air Conditioning System. *Energy Procedia* [online]. 2013, **36**, 444-453 [cit. 2017-02-23]. DOI: 10.1016/j.egypro.2013.07.050. ISSN 18766102. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610213011363>
- [21] ZDVOŘILÝ, V.: *Využití fotovoltaických panelů pro ohřev vody*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2014, 58 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.
- [22] *FV modul Victron Energy BlueSolar: BlueSolar Polycrystalline Panels*. b.r. Dostupné také z: <http://www.solar-eshop.cz/>

- [23] Toyota Prius Prime: solární panel pro nabíjení baterie. *Hybrid.cz* [online]. 2016 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/toyota-prius-prime-solarni-panel-pro-nabijeni-baterie-chademo>
- [24] Nový Prius Plug-in. *Toyota* [online]. b.r. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/new-cars/novy-prius-plug-in/index.json>
- [25] BELL, L.: Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems. *Science*. 2008, **321**(5895), 1457. Dostupné také z: <http://science.sciencemag.org/content/321/5895/1457.abstract>
- [26] RIFFAT, S.B a MA, X.: Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2003, **23**(8), 913-935 [cit. 2017-02-10]. DOI: 10.1016/S1359-4311(03)00012-7. ISSN 13594311. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431103000127>
- [27] ZHAO, D. a TAN, G.: A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2014, **66**(1-2), 15-24 [cit. 2017-02-10]. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.01.074. ISSN 13594311. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431114000854>
- [28] YANG, J. a STABLER, F.: Automotive Applications of Thermoelectric Materials. *Journal of Electronic Materials* [online]. 2009, **38**(7), 1245-1251 [cit. 2017-02-10]. DOI: 10.1007/s11664-009-0680-z. ISSN 03615235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-009-0680-z>
- [29] RIFFAT, S. a MA, X.: Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: a review. *International Journal of Energy Research* [online]. 2004, **28**(9), 753-768 [cit. 2017-04-13]. DOI: 10.1002/er.991. ISSN 0363907x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/er.991>
- [30] Thermal Management Applications. *Gentherm* [online]. b.r. [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.gentherm.com/en/page/thermal-management-applications>
- [31] Climate Controlled Seating. *Automotive Essentials, Inc.* [online]. b.r. [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.automotiveessentials.com/seating.html>
- [32] FAIRBANKS, J.: *Thermoelectric applications in vehicles status 2008 (6th European Conference on Thermoelectrics)* [online]. In: . U.S. Department of Energy: Washington, D.C., U.S.A. 20585, 2008 [cit. 2017-02-18].
- [33] NIKOWITZ, M.: *Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration*. Springer, 2016. ISBN 978-3-319-26304-5.
- [34] FAQs. *Infratech Automotive* [online]. b.r. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://infratech-usa.com/automotive/faqs/>

- [35] BMW developing infrared heating system for EVs. In: *Autoblog* [online]. 2012 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.autoblog.com/2012/09/19/bmw-developing-infrared-heating-system-for-evs/>
- [36] Heat Pipes. *Thermal Design* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010, s. 180 [cit. 2017-03-18]. DOI: 10.1002/9780470949979.ch4. ISBN 9780470949979. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470949979.ch4>
- [37] ELNAGGAR, M. a EDWAN, E.: Heat Pipes for Computer Cooling Applications. *Electronics Cooling* [online]. InTech, 2016 [cit. 2017-04-09]. DOI: 10.5772/62279. ISBN 9789535124054. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/electronics-cooling/heat-pipes-for-computer-cooling-applications>
- [38] *Heat Pipe Pte Ltd* [online]. Singapore, b.r. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.heatpipe.com.sg/>
- [39] Wrap Around Heat Pipe | How does a Wrap Around Heat Pipe work?. *DAC Sales* [online]. 2012 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.dac-hvac.com/wrap-around-heat-pipe-how-does-a-wrap-around-heat-pipe-work-2/>
- [40] PAYÁ, J., CORBERÁN, J., TORREGROSSA-JAIME, B. a VASILE-MÜLLER, C.: *Innovative air-conditioning systems for conventional and electric vehicles* [online]. b.r. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20140203_093312_80529_Paper_Innovative_airconditioning_systems.pdf
- [41] BLAŽKOVÁ, M.: Magnetické chlazení. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 2005, **50**(4), 301-320. ISSN 0032-2423. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10338.dmlcz/141284>
- [42] YEBIYO, M. a MAIDMENT, G.: What's so attractive about magnetic refrigeration? In: *Cibse Journal* [online]. 2016 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://www.cibsejournal.com/technical/the-appeal-of-magnetic-refrigeration/>
- [43] The ICE Project Mobile Air-Conditioning System. *ICE project* [online]. b.r. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.ice-project.webs.upv.es/ice-air-conditioning-system>
- [44] Dojezd a dobíjení. *Nissan* [online]. b.r. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf/dojezd-dobijeni.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZKRATKY

<i>ASHRAE</i>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
<i>CCS</i>	Climate Control Seat
<i>HVAC</i>	Heating Ventilation and Air-Conditioning
<i>MCE</i>	Magnetocaloric Effect
<i>NEDC</i>	New European Driving Cycle
<i>PPD</i>	Predicted Percentage of Dissatisfied

SYMBOLY

E_0	$[W \cdot m^{-2}]$	vlastní zářivost černého tělesa
f_{cl}	$[-]$	faktor zvýšení povrchu oblečeného těla vůči ploše nahého těla
\dot{Q}_k	$[W]$	tepelný tok přenesený konvekcí
\dot{Q}_{ved}	$[W]$	tepelný tok přenesený vedením
\dot{q}_d	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku odvedena dýcháním
\dot{q}_k	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku odvedena konvekcí
\dot{q}_m	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota metabolického tepelného toku
\dot{q}_r	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku odvedena radiací
\dot{q}_v	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku odvedena vypařováním
\dot{q}_{ved}	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku odvedena vedením
R_{cl}	$[m^2 K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor oděvu
S	$[m^2]$	plocha přenosu tepla
t_a	$[^{\circ}C]$	teplota vzduchu
t_r	$[^{\circ}C]$	střední radiální teplota
T_c	$[K]$	teplota chladné strany
T_h	$[K]$	teplota teplé strany
T_W	$[K]$	teplota povrchu obtékaného tělesa
T_{∞}	$[K]$	teplota tekutiny v dostatečné vzdálenosti od povrchu
$\frac{dT}{dx}$	$[K \cdot m^{-1}]$	teplotní gradient, kde osa x značí směr šíření tepla
w	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost proudění vzduchu
α	$[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla

ε	$[-]$	poměrná zářivost, $0 \leq \varepsilon \leq 1$
λ	$[W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
σ	$[W \cdot m^{-2} K^{-4}]$	Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$
φ	$[\%]$	relativní vlhkost vzduchu